



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA OKA PÍSTNICE

PISTON ROD EYE PRODUCTION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Hořava

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

BRNO 2021

# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>David Hořava</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba oka pístnice

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Oka pístních tyčí jsou využívána k přenosu pohybu pístu hydraulických válců na další mechanismy strojů. Jedná se zpravidla o vysoce cyklicky namáhané součásti. Oko pístní tyče tvoří prstenec, na který navazuje dřík se závitem. Účelem práce je navrhnout technologii výroby této součásti využívané v konstrukci hydraulické ruky.

### Cíle bakalářské práce:

- Zhodnotit technologičnost zadané součástky.
- Na základě analýzy možných výrobních technologií zvolit optimální výrobní postup.
- Pro vybraný výrobní postup zpracovat literární studii.
- Sestavit technologický postup výroby doložený nezbytnými technologickými výpočty.
- Zpracovat výkresovou dokumentaci nástroje.
- Zpracovat technicko–ekonomické zhodnocení navrženého řešení.

### Seznam doporučené literatury:

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press. 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

ASM-Metals Handbook: Formig and Forging. Vol.14. USA ASM International. 2004. 978 s ISBN 0-87170-020-4.

LIDMILA, Zdeněk. Teorie a technologie tváření II. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-8-7213-580-2.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

HOŘAVA David: Výroba oka pístnice.

---

Bakalářská práce podává návrh technologie výroby oka pístnice o velikosti série 45 000 ks. Zhotoveného z ocelové tyče C45E zápusťkovým kováním. Na základě literární rešerše a potřebných technologických výpočtů byl zvolen pro kování součásti pneumaticko – hydraulický buchar KHZ 4A od firmy Šmeral o velikosti tvářecí energie 50 kJ s předkováním na stroji pro příčné klínové válcování ve formě dvojkusů. Pro ostřížení výkovku byl zvolen ostříhvací lis LKOA 200 od firmy Šmeral o velikosti tvářecí síly 2 000 kN. Závěrem bylo spočteno technicko – ekonomické zhodnocení nákladů na materiál.

Klíčová slova: Ocel C45E, zápusťkové kování, oko pístnice, výkovek, buchar

## **ABSTRACT**

HOŘAVA David: Piston rod eye production.

---

The bachelor's project elaborated design of technology production of the piston rod eye in series of 45 000 pieces. The piston rod eye is made of steel rod C45E by die forging. Pursuant to of the literary pursuit and necessary technological calculations was chosen a pneumatic – hydraulic hammer KHZ 4A, from the company called Šmeral, with a forming energy of 50 kJ, for forging of component. Cross wedge rolling machine was chosen for overdosage of forged piece in form of double piece. Shearing press LKOA 200, from the company called Šmeral, with a forming force of 2 000 kN, was chosen for shearing of forged piece. At the end, the technical – economic evaluation of material costs was calculated.

Keywords: C45E steel, die forging, piston rod eye, forged piece, hammer

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

HOŘAVA, David. *Výroba oka pístnice* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132194>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Zdeněk Lidmila.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 21.5.2021

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále děkuji své rodině za podporu během celého studia.

# OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b> .....	10
<b>1.1 Výrobní varianty</b> .....	11
<b>2 TECHNOLOGIE VÝROBY</b> .....	12
<b>2.1 Zápustkové kování</b> .....	13
2.1.1 Ohřev na kovací teplotu a ohřívací zařízení.....	13
2.1.2 Konstrukce výkovku .....	15
2.1.3 Úchytky rozměrů a tvarů zápustkových výkovků.....	18
<b>2.2 Kovací stroje</b> .....	20
<b>2.3 Konstrukce zápustek pro buchary</b> .....	22
<b>2.4 Postup kování na bucharu</b> .....	24
<b>2.5 Příčné klínové válcování</b> .....	26
<b>2.6 Výpočet velikosti bucharu</b> .....	27
<b>2.7 Ostřihování zápustkových výkovků</b> .....	27
<b>3 NÁVRH VÝROBY</b> .....	28
<b>3.1 Konstrukce výkovku</b> .....	28
<b>3.2 Úchytky rozměrů a tvarů výkovku</b> .....	30
<b>3.3 Tvar a rozměry výronkové drážky</b> .....	31
<b>3.4 Návrh rozměrů polotovaru</b> .....	32
<b>3.5 Volba bucharu</b> .....	34
<b>3.6 Volba ostřihovacího lisu</b> .....	36
<b>3.7 Konstrukce kovací zápustky</b> .....	37
<b>3.8 Technologický postup</b> .....	38
<b>4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ</b> .....	39
<b>5 ZÁVĚRY</b> .....	41
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratek	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	



## ÚVOD [1], [2], [16]

Tváření kovů se poprvé vyskytlo již v době bronzové, avšak rozvoj teorie této problematiky se datuje od první poloviny dvacátého století. Dnes je významným členem výroby nejrozmanitějších strojních součástí, které se vyskytují ve všech třídách techniky a průmyslu. Jedná se například o leteckou, automobilovou, dopravní, vojenskou a spotřební techniku nebo energetiku aj.

Součásti vyrobené technologií tváření dosahují velice dobrých mechanických vlastností, přesností a geometrií tvarů. Narozdíl od běžné technologie obrábění dosahuje velké úspory tvářeného materiálu, větší produktivity a vyššího ekonomického výdělku na základě čteného počtu vyrobených kusů. Z toho důvodu se vyplatí tuto technologii použít v sériové, či hromadné výrobě. Dělí se na plošné a objemové.

Objemové tváření probíhá za tepla, poloohřevu nebo za studena. Patří mezi něj například pýchování, protlačování, kování a válcování. U polotovaru dochází k zřetelné změně tvaru a tím i ke zvětšování jeho plochy. Ukázka některých součástí, které lze zhotovit objemovým tvářením je uvedena na obr. 1.



Obr. 1 Ukázka možných součástí zhotovených objemovým tvářením [3], [15]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [4], [5], [6]

Součástí, kterou se zabývá tato práce je oko pístitnice, viz obr. 2. To slouží pro přenos pohybu mezi hydraulickým válcem a následující částí mechanismu.

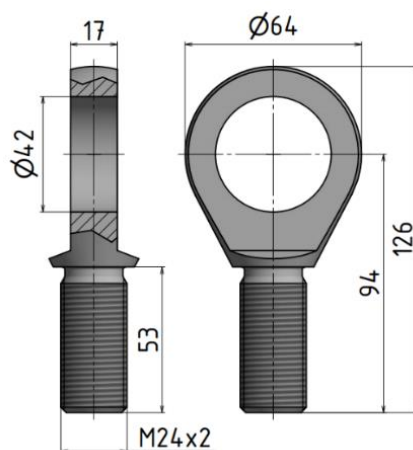
První oka byly používány v leteckém průmyslu, za druhé světové války v Německu. Výrobní patent byl přidělen dvěma firmám. V Americe se jednalo o firmu H.G. Heim Company a ve Velké Británii o firmu Rose Bearings. Proto se někdy můžeme setkat s názvy jako jsou Heim joints či Rose joints.

V dnešní době se hojně vyskytuje v mnoha odvětvích průmyslu. Například v již zmíněných letadlech a vrtulnících, ponorkách a lodích. Dále v dopravních, vojenských a zemědělských vozidlech nebo ve vozidlech sloužících pro manipulaci s materiálem, přesněji řečeno v konstrukci jejich hydraulické ruky, což je tento případ.

Součást se skládá ze dvou základních částí. A to z oka, ve kterém je nalisováno kulové kloubové ložisko. Tím v konstrukci hydraulické ruky prochází čep, na kterém jsou prstence v kontaktu s čely kolnými na osu ložiska. Proto je nutno jejich obrobení s menší drsností povrchu a větší přesností, stejně jako u otvoru pro nalisování ložiska. Součástí oka je také otvor pro mazací hlavici. Druhou hlavní částí je dřív s vnějším metrickým závitem, pro přišroubování oka k pístitní tyči. Základní kóty jsou uvedeny na obr. 3. Rozměry, u kterých nejsou předepsány mezní úchytky jsou zhotoveny střední třídou přesnosti podle normy ČSN ISO-1 s označením m.



Obr. 2 Model řešené součásti



Obr. 3 Základní rozměry součásti

Součást bývá mimořádně cyklicky namáhána. Tudíž jsou na materiál kladeny velké mechanické požadavky. Musí však být také dobře obrobitelný, dostupný a cenově přívětivý, důležité budou i jeho technologické vlastnosti ve vztahu k zvolené výrobní technologii. Nelegovaná ocel třídy 12, respektive C45E, se jeví jako dobrá varianta. Tato ocel se hodí pro zušlechťování a povrchové kalení. Využívá se především pro výrobu hřídelí, ozubených kol, ojníc, čepů, šroubů a mnoha dalších dílů. Přehled chemického složení a mechanických vlastností se nachází v tabulce 1.

Tab. 1 Přehled chemického složení a mechanických vlastností oceli C45E [7].

Materiál	Nelegovaná ocel C45E					
	Uhlík C [%]	Křemík Si [%]	Mangan Mn [%]	Fosfor P [%]	Síra S [%]	Chrom Cr [%]
Chemické složení	0,42-0,50	min. 0,4	0,5-0,8	min. 0,03	min.0,035	min. 0,4
Mechanické vlastnosti	Mez pevnosti Rm [MPa]		Mez kluzu Re [MPa]		Tažnost A [%]	
	650-800		min. 430		min. 16	

## 1.1 Výrobní varianty [2], [8], [9], [13]

Pro splnění požadavků na zadanou součást musí být vybrána vhodná výrobní metoda. Je možné volit z následujících:

- Obrábění - technologie obrábění je proces při, kterém dochází k oddělování částic obráběného materiálu, tzv. třísek, nástrojem za silového působení. Patří sem například soustružení, frézování (obr.4), broušení atd. Na zadanou součást jsou kladeny velké mechanické požadavky z důvodu cyklického namáhání. Při obrábění dochází k přerušování vláken v materiálu, tudíž toto nemůže být splněno. Taktéž by docházelo ke vzniku nemalého množství odpadu v podobě třísek a k delším výrobním časům. Výroba by se tak velice prodražila. Proto se tato metoda jeví jako nevhodná, avšak bude použita pro konečné opracování funkčních ploch.



Obr. 4 Čelní frézování [10]

- Odlévání - slévárenská technologie je proces, při kterém dochází k odlévání roztaveného kovu do formy (obr. 5). Součást by šla vyrobit různými druhy odlévání, nejlépe litím do netrvalé formy z důvodu jednoduchosti součásti, ale stejně jako obrábění tak i slévání se jeví jako nevhodné. Mohou za to eventuální vady v materiálu (např. bubliny, trhliny, praskliny ad.) a hlavně heterogenní struktura kovu, která má vliv na mechanické vlastnosti.



Obr. 5 Odlévání roztaveného kovu [11]

- Zápustkové kování (obr.6) - jedná se o objemové tváření za tepla. Výkovek je zhotoven v dutině horní a dolní zápustky, která má stejný tvar jako výkovek. Při této metodě nedochází k přerušování vláken materiálu, ta kopírují tvar součásti a mechanické vlastnosti jsou tak zvýšeny. Nedochází k oddělování třísky, odpad vzniká při propalu nebo odštížení výronkové drážky (či blány) a není tak velký jako u obrábění. Metoda je vysoce produktivní a oplatí se v sériové či hromadné výrobě. Jeví se tedy jako nejvhodnější.



Obr. 6 Zápustkové kování [12]

Pro výrobu součásti byla zvolena metoda zápustkového kování, na kterou bude zaměřena teorie a návrh této bakalářské práce. Po vykování budou obrobena funkční plochy. Předkovek bude zhotoven příčným klínovým válcováním.

## 2 TECHNOLOGIE VÝROBY [2], [13], [18]

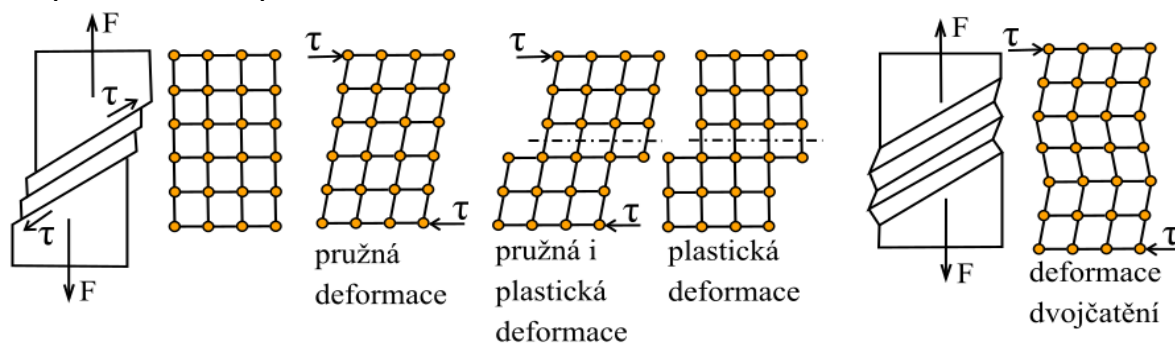
Příčné klínové válcování a zápustkové kování jsou technologie objemového tváření, obecně probíhající za tepla (nad teplotou rekrytalizace). Zápustkové kování však může probíhat i za poloohřevu, či za studena.

Výhodami tváření za tepla jsou nižší hodnoty přetvárných odporů, opakovatelné přetvoření, nižší hodnoty tvářecích sil a přetvárné práce, nižší silové namáhání nástroje. Nevýhodami tváření za tepla je pak velké spotřebování energie na ohřev, velké tepelné namáhání nástroje, tvary a rozměry s menší přesností kvůli přídalkům, méně kvalitní struktura povrchu, menší využití materiálu.

Pro další odstavec je nutno prvně nahlédnout na krystalickou stavbu kovu. Kovy jsou tvořeny atomy (obr. 7, oranžové body), které jsou uspořádány v krystalické mřížce. Ty se vyznačují pravidelným geometrickým uspořádáním. Kovy nejčastěji krystalizují v krychlové nebo šesterečné mřížce. Podle stavby krystalické mřížky se odvíjejí i mechanické vlastnosti, dále tepelné, magnetické i elektrické. Při přechodu z kapalné fáze do tuhé probíhá primární krystalizace. U spousty kovů se pak mřížka mění i v tuhém stavu za různé teploty, což je krystalizace sekundární, která je nazývána jako překrytalizace.

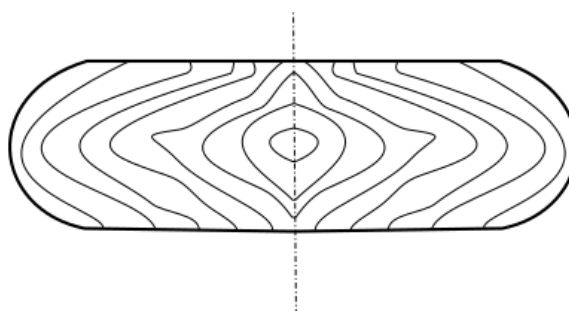
Změna tvaru při zmíněných technologiích je zapříčiněna vnějšími silami. Jedná se o deformaci, při které je požadováno, aby ve výrobku nedošlo k porušení spojitosti materiálu. Kdyby k porušení došlo, což se může stát, ale je to nežádoucí, projeví se to vznikem trhlin nebo celkovou destrukcí výrobku. Nejdříve dochází k elastické (pružné) deformaci, která se vyznačuje tím, že po uvolnění vnějšího zatížení se deformované těleso vrátí do původního stavu, po dosažení meze kluzu dochází k plastické deformaci, která je trvalá.

Plastická deformace může probíhat dvěma mechanismy, skluzem a dvojčatěním (obr. 7). Skluz je častější a zpravidla k němu dochází v rovinách krystalické mřížky s největší hustotou atomů. Směr skluzu je stejný se směrem, ve kterém je obsaženo nejvíce atomů. Skluz započne dosažením kritické hodnoty maximálního skluzového napětí. Dvojčatěním se rozumí posunutí jedné části mřížky vůči druhé okolo roviny symetrie a vyskytuje se především u tváření rázem nebo po žíhání trvale přetvořené součásti.



Obr. 7 Schéma mechanismu skluzu a dvojčatění [2]

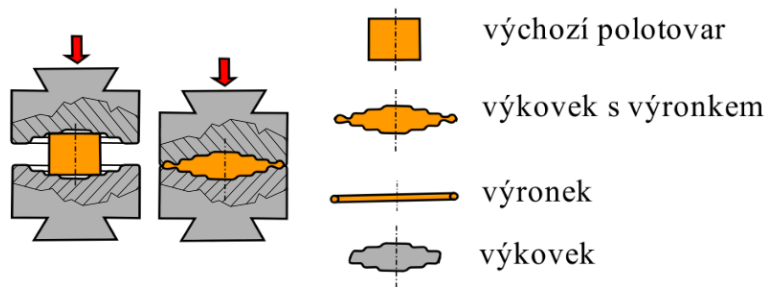
Tváření působí na změnu makrostruktury tělesa vlivem vzniku vláknitosti. Hrubá dendritická struktura materiálu se protahuje společně s vměstky a vznikají vlákna, která kopírují tvar výrobku, jak je zobrazeno na obrázku 8. Změna mikrostruktury se projevuje zmenšením velikosti zrna při kování. Mechanické vlastnosti tvářeného tělesa se tak zlepšují.



Obr. 8 Vlákna kopírující tvářené těleso [18]

## 2.1 Zápustkové kování [2], [13], [18], [23]

Zápustkovým kovááním se zhotovuje výkovek, který vzniká za kovací teploty v nástroji nazývaném kovací zápustka. Kovací zápustka se skládá ze dvou částí, horní a spodní. V zápustce je vytvořena dutina, která má tvar budoucího výrobku s přídávky. Do spodní dutiny se klade zahřátý polotovár a následně se



Obr. 9 Schéma zápustkového kování na bucharu [21]

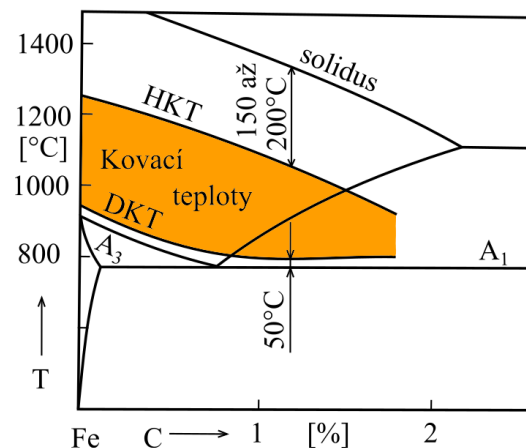
tváří, úderem na bucharu nebo tlakem na lisu, skrze horní část zápustky. Tímto se polotovár vytvaruje dle dané dutiny. V rovině styku obou částí zápustky je vytvořena výronková drážka pro odtok přebytečného materiálu tzv. výronek. Ten je následně ostřížen společně s případnou blánou na ostříhovacím stroji. Schéma zápustkového kování na bucharu je na obrázku 9.

Mimo bucharů se pro zápustkové kování využívají i klikové lisu. Způsob kování na bucharu se liší od kování na klikovém kovací lisu např. pracovní rychlostí. Kdy u bucharu je asi 10krát větší (5 až 8 m.s<sup>-2</sup>) než u lisu. Lis působí na přetvářeny materiál na rozdíl od bucharu tlakem. Dále se liší čas styku horní části zápustky s deformovaným materiálem, kdy u lisu hovoříme v setinách až desetínách, zatímco u bucharu v deseti tisícinách až tisícinách (přesněji 0,0007 až 0,001 s). Z toho plyne, že u bucharu nedochází k tak rovnoměrné deformaci, jako je tomu u lisu. Dalším rozdílem je, že při kování na lisu se okuje zakovávají do výkovku, a proto se musí odstraňovat, aby nedocházelo ke zhoršení kvality povrchu výkovku, což u bucharu nehrozí.

### 2.1.1 Ohřev na kovací teplotu a ohřívací zařízení [13], [18]

Ideálním způsobem ohřevu je zahřátí kovu v co nejkratším čase, při kterém se materiál dostane na požadovanou kovací teplotu, nejlépe s co nejmenším rozdílem teplot na povrchu a ve středu polotovaru. Dále by měly být omezeny nebo úplně odstraněny průvodní jevy ohřevu (opal, oduhlíčení, zhrubnutí zrna, přehřátí apod.), aby nedocházelo ke zhoršení povrchové a vnitřní jakosti.

Podstatné jsou i fyzikální veličiny charakterizující ohřev kovu a základní veličiny ohřívacího režimu, mezi které patří kovací teploty, rychlost ohřevu a doba ohřevu.



Obr. 10 Kovací teploty oceli [13]

Oblast kovacích teplot oceli je v části diagramu Fe-C znázorněna na obr. 10. K základním veličinám ohřívacího režimu patří:

- horní kovací teplota (HKT) – nejvyšší teplota, na kterou může být ohřát polotovár,
- počáteční kovací teplota (PKT) – na této teplotě dochází k zahájení kování,
- dolní kovací teplota (DKT) - nejnižší teplota, na kterou může být ohřát polotovár,
- dokovací teplota (DT) – teplota, kterou má polotovár na konci kování.

S vyšší HKT se dosahuje lepší tváritelnosti a dochází ke snížení přetvárného odporu, ale zároveň dochází k větší oxidaci a oduhličení. Náchylnost k růstu zrna roste společně s náchylností k přehřátí a spálení. HKT má být pod kritickou teplotou při, které roste zrno a je o 150 až 200 °C menší než teplota solidu. V oblasti DKT je nutná stále dostatečná tváritelnost. Tato teplota se ustanovuje zvláště pro podeutektoidní oceli, kdy leží 50 °C nad křivkou překrystalizace  $A_3$ , a nadeutektoidní oceli, kdy leží 50 °C nad křivkou překrystalizace  $A_1$ . Určením správné DKT se dosáhne jemnozrné struktury, která zlepšuje vlastnosti tvářeného kovu.

Jak už bylo zmíněno ohřev kovů doprovází i jisté průvodní jevy. Jako je třeba opal, který vzniká na povrchu ohřívaného tělesa oxidací. Tím dochází ke ztrátě kovu v podobě okují (úbytek až 4 % vyrobené oceli). V závislosti na ohřívací teplotě, době ohřevu, pecní atmosféře a chemickém složení vzniká jejich množství. Dalším průvodním jevem je oduhličení. Problémem zde je ztráta pevnosti, způsobená snížením uhlíku v povrchu ohřívaného polotovaru, což je nepříznivé zejména pro cyklicky namáhané součásti. Oduhličená vrstva dosahuje maximální hloubky 2 mm. Důležité je zmínit i přehřátí, případně spálení, které vzniká při ohřevu nad HKT. Spálením ohřívaný materiál zcela poruší svou soudržnost.

Pro ohřev velkých a malých polotovarů se využívá odlišných zařízení, přesněji řečeno pecí. Velké polotovary jsou ohřívány v plynových pecích stavěných jako komorové a dle konstrukce jsou děleny na:

- vozové – nístěj vyjíždí, vsázka se snadněji ukládá a vyjímá,
- narážecí (strkací) – jedná se o průběžnou pec, kterou je polotovar postrkáván,
- karuselové – otáčející se pec s kruhovým půdorysem,
- štěrbínové – slouží pro ohřátí konců tyčí a trubek skrze štěrbinu.

Mezi ohřívací pece používané pro ohřev malých polotovarů patří výhradně elektrické pece a ty se dále dělí na:

- odporové,
  - s přímým průchodem proudu – materiál je přímo ohříván elektrickým proudem, ideální jen pro tenké polotovary,
  - s nepřímým ohřevem – elektrickým proudem jsou ohřívány články, které následně sáláním tepla ohřívají polotovar, pro ohřev barevných kovů,
- indukční (obr.11) – ohřívání materiál prochází elektromagnetickým polem cívky, magnetické pole indukuje v materiálu vířivé proudy a důsledkem toho vzniká teplo přímo v něm, používá se např. pro ocelové polotovary. Jedná se o nejrychlejší a v zápusťkových kovárnách nejpoužívanější způsob ohřevu.

Správnou volbou pece, tudíž i způsobu ohřevu, lze urychlit ohřev, snížit opal a oduhličení. To je hlavní cíl při volbě ohřívacího zařízení. Pro zadanou součást bude zvolen indukční ohřev.



Obr. 11 Indukční pec [22]

## 2.1.2 Konstrukce výkovku [13], [18], [24]

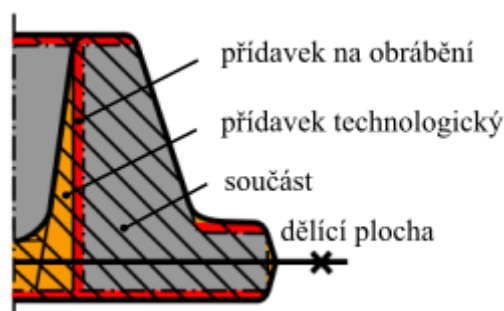
Konstrukce výkovku vychází ze součásti, která má být kováním zhotovena. Proto už na začátku konstrukce součásti, je třeba dbát na specifika této technologie. Avšak součást není vším, co definuje tvar a rozměry výkovky. Mezi další ovlivňující parametry patří i:

- požadavky na přesnost výkovku,
- požadavky na mechanické vlastnosti, jakost povrchu a vnitřní vady,
- použité tvářecí zařízení,
- požadavky na mechanizaci a automatizaci kovačského procesu.

Základními konstrukčními parametry výkovku zhotoveného zápustkovým kovááním jsou:

- dělicí plocha,
- technologické přídavky a přídavky na obrábění (obr. 12),
- tolerance rozměrů.

Dělicí plocha má velký význam pro konstrukci zápustkového výkovku. Podle ní je zápustka rozdělena na horní a spodní část. Její důležitost tkví především ve snadném vyjmutí výkovku ze zápustky a z toho důvodu musí ležet v jeho největším průřezu. Její poloha má vliv i na průběh vláken ve výkovku. Dělicí plocha může být rovná nebo lomená, ale to jen v nutných případech, záleží na tvaru výkovku. Musí umožňovat předkování otvorů součásti. Také se přihlíží k snadnému ostříhování výronku a k zajištění vizuální kontroly případného přesazení horní a dolní části zápustky. Vhodně zvolená dělicí plocha by měla také zajistit, aby odpor vůči zatékání kovu do dutiny byl co nejmenší.



Obr. 12 Výkovek na výkrese [25]

Po volbě dělicí plochy přichází na řadu stanovení přídavků na obrábění a přídavků technologických. Přídavky na obrábění se konstruují na plochách, na kterých je předepsané mechanické obrábění. Jejich velikost, např. pro výkovky z oceli, se určuje podle normy ČSN 42 9030 a jsou stejně velké pro všechny rozměry výkovku. U této normy se velikost přídavků určuje na základě největšího průměru, nebo střední hodnoty šířky a délky výkovku ve směru kolmo k rázu. Doporučená velikost přídavků pro obvyklé provedení se nachází v tabulce 2. Dále se používá např. norma DIN 7526, kde velikost přídavků závisí na hmotnosti součásti, rozměrech součásti a stupni obtížnosti kováání v závislosti na materiálu.

Tab. 2 Velikost přídavků na obrábění ploch, obvyklé provedení [24]. Rozměry v mm

Největší průměr, nebo střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu	Největší výška hotové součásti								
	přes	25	40	63	100	160	250		
	do 25	40	63	100	160	250	400		
přes	do	Velikost přídavků na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	

Mezi technologické přídavky se především řadí úkosy, zaoblení, blány v otvorech a zesílení tloušťky štíhlých stěn, či žeber. Dotváří se nimi tvar výrobku vhodného pro technologii kování.

- Úkosy:

Slouží pro snadné vyjmutí výkovku ze zápustky a konstruují se na plochách kolmých na dělicí plochu. Dělí se na vnitřní a vnější. Ty vnější jsou obecně menší než ty vnitřní. Je tomu tak z důvodu ochlazování a smršťování výkovku. V tabulce 3 jsou zobrazeny úkosy zápustkových výkovků podle normy ČSN 429030.

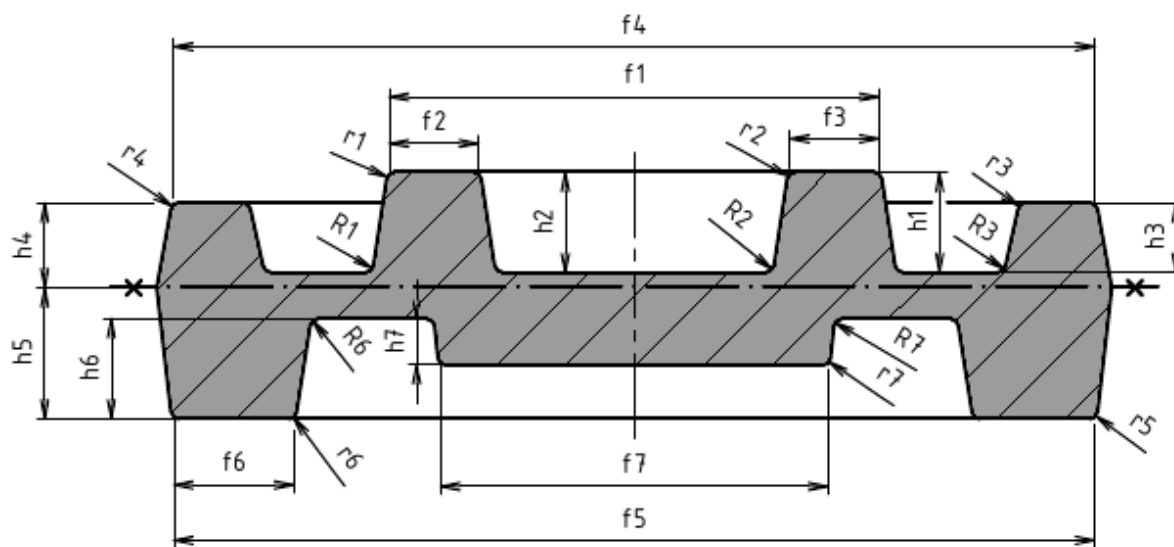
Tab.3 Úkosy určené pro zápustkové výkovky [13].

Hodnoty ve °

Pro plochy	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně zhotovují s úkosy	3	7
Pro buchary a lisy bez vyhazovače se dovolují úkosy	7	10
Pro lisy s vyhazovačem se dovolují úkosy	2 až 3	3 až 5
Pro výkovky kované na vodorovných kovačích strojích	0 až 5	0 až 5

- Zaoblení:

Zaoblení je třeba zkonstruovat na všech hranách z důvodu zatékání kovu, protože ten do ostrých rohů nezateče. Tímto se zároveň sníží i případné poškození a opotřebení zápustky. Vnitřní rádiusy se volí asi 2,5x větší než vnější. Je nutné, aby v žádném případě nezmenšovaly přídavky na obrábění. Pro určení velikosti zaoblení lze užít stejně jako je tomu u úkosů např. vhodné tabulky, odbornou literaturu, či normy. Obrázek 13 a tabulka 4 odkazují na určování velikosti poloměrů zaoblení dle normy ČSN 40 9030.



Obr. 13 Schéma pro určení velikosti poloměrů zaoblení r a R [24]

Tab. 4 Zaoblení hran r a přechodů R [24].

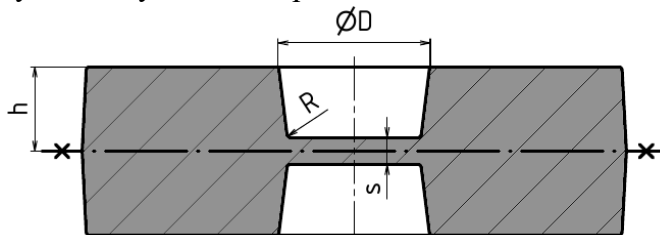
Rozměry v mm

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		(h/f) do 2		(h/f) přes 2 do 4		(h/f) přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100



- Blány:

Tento technologický přídavek je příčkou v otvoru tvořící se při jeho předkování. Avšak pokud je otvor příliš malý, není výhodné ho předkovávat. Namísto toho se s technickým přídavkem kove s technologickým přídavkem zaplňujícím celý prostor otvoru. Blána se zpravidla ihned po dokování ostříhuje. Běžná kováčská blána je znázorněna na obrázku 14 a její tloušťka (s) se vypočítá dle vztahu:



Obr. 14 Kovací blána na výkovku [13]

$$s = 0,45\sqrt{D - 0,25h} - 5 + 0,6\sqrt{h} \quad (2.1)$$

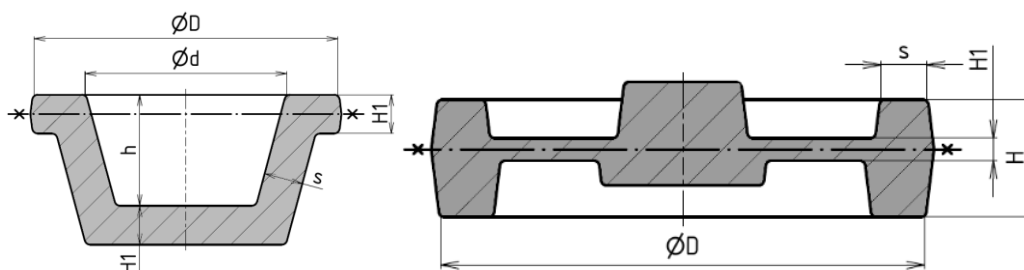
kde: s – tloušťka blány [mm],  
D – průměr otvoru [mm],  
h – polovina výšky otvoru [mm].

- Zesílení tenkých stěn a žebor:

Do úzkých skulin dutiny zápusky zatéká kov velice obtížně, proto je potřebné toto zesílení. Tomu nenapomáhá ani rychlé ochlazování potenciálně tenkých stěn výkovku. Úzká žebra na výkovku mají obecně špatný vliv na životnost nástroje a potřebnou energii pro kování, kterou zvyšují. Doporučené hodnoty pro ocelové výkovky se dají určit např. normou ČSN 42 9030 uvedenou na obrázku 15 a v tabulce 5 nebo následujícím výpočtem:

$$s = 0,158\sqrt{L \cdot h} \quad (2.2)$$

kde: s – tloušťka stěny [mm],  
L – největší rozměr výkovku [mm],  
h – výška stěny výkovku [mm].



Obr. 15 Nejnižší tloušťka dna a disku H<sub>1</sub> [24]

Tab. 5 Nejnižší tloušťka dna, blány, disku H<sub>1</sub> a stěny s [24].

Rozměry v mm

Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)	Největší výška výkovku H								
	přes	10	25	40	63	100	160	250	
	do 10	25	40	63	100	160	250	400	
přes	do	Nejnižší tloušťka dna, blány, disku H <sub>1</sub> a stěny s							
	25	4	5	6	7	9			
25	40	5	5	6	7	9	11		
40	63	5	6	7	9	11	13	15	
63	100	6	7	9	11	13	15	17	20
100	160	8	9	11	13	15	17	20	25
160	250	10	13	15	17	20	25	30	35

### 2.1.3 Úchylky rozměrů a tvarů zápusťkových výkovků [13], [26], [27]

Mezi úchylky rozměrů a tvarů zápusťkových výkovků se zpravidla počítají úchylky rozměrů, přesazení, otřep a prohnutí.

Podle normy ČSN 42 9030 se při stanovení mezních úchylek a tolerancí rozměrů výkovku vychází z obtížnosti kování v závislosti na tvarové složitosti výkovku, stejně jako je tomu i u jiných norem, avšak celkový přístup se odlišuje. Blíže se mezní úchylky a tolerance rozměrů stanoví zmíněnou normou podle stupně přesnosti výkovku a největších rozměrů výkovku ve směru kolmo k rázu a ve směru rázu. Určení stupně přesnosti výkovku je uváděno normou ČSN 42 9002 dle oborového třídíku a složitosti tvaru.

Složitost tvaru je podle této normy označována pod pěticiferným kódem. Pod každou cifrou se skrývají jiná kritéria, která se rozdělují následovně:

- Tvarový druh:  
Obsahuje výkovky kruhového průřezu plné, výkovky kruhového průřezu duté, výkovky hranolovitých tvarů plné i duté, výkovky kombinovaných tvarů plné i duté, výkovky s ohnutou osou, výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou a výkovky s lomenou dělicí plochou.
- Tvarová třída:  
Prvních pět zmíněných tvarových druhů se dále rozděluje tvarovou třídou na konstantní průřez, kuželovité, jednostranně osazené, oboustranně osazené, osazené s kuželem, prosazené, kombinované, kombinované s kuželem, členité a neobsazeno. Zbylé dva tvarové druhy se dále rozdělují na převážně kruhový průřez, převážně plochý průřez, s hlavou a jedním ramenem, s hlavou a více rameny, jednostranně rozvidlené, oboustranně rozvidlené, zalomené a šroubovité (pouze u tvarového druhu výkovků s lomenou dělicí plochou).
- Tvarová skupina:  
Tvarová skupina se rozděluje podle vzájemných poměrů mezi rozměry výkovku, např. výšek, délek, šířek, průměrů apod.
- Tvarová podskupina:  
Zde dochází k rozdělení podle dvou na sobě závislých veličin. Mohou být s přesahem, s kombinací několika přesahů nebo bez přesahu.
- Technologické hledisko:  
Poslední (pátá) číslice zahrnuje výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné, nesouměrné, výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné, nesouměrné, s ozubením, výkovky zhotovené na vodorovných kovacíh lisech souměrné, nesouměrné, s ozubením, výkovky s více dělicími plochami a neobsazeno.

Po číselném označení výkovku se s jeho využitím určuje stupeň přesnosti z tabulky, viz tab. 6.

Tab. 6 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [26].

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technologické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥	∥	⊥	∥	⊥	∥
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

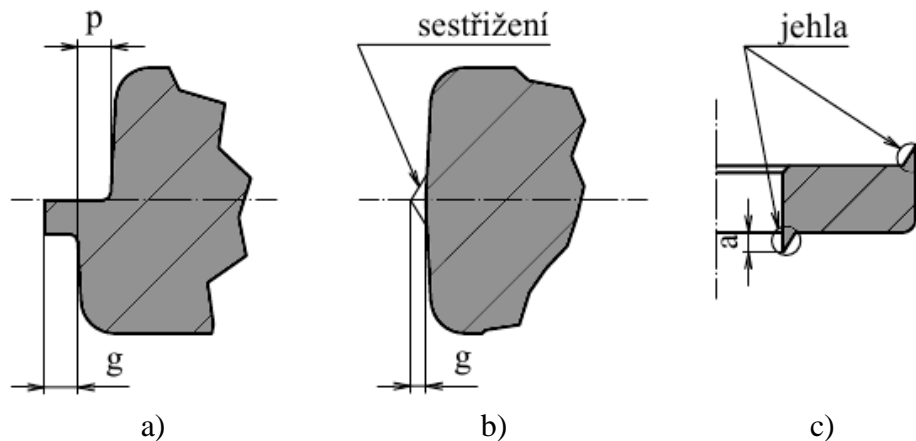
Ze získaných hodnot stupňů přesnosti se dále zjistí mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku. Úchytky vnějších rozměrů pro vybrané stupně přesnosti jsou uvedeny v příloze 1. Pro vnitřní rozměry jsou totožné jen s opačným znaménkem. Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r jsou uvedeny v tabulce 7.

Tab. 7 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [26].

Poloměr zaoblení		Mezní úchytky			
přes	do	. R		. r	
	10	+0,50	-0,25	+0,25	-0,50
10	32	+0,40	-0,20	+0,20	-0,40
32	100	+0,30	-0,15	+0,15	-0,30
100		+0,25	-0,10	+0,10	-0,25

Výsledné hodnoty zahrnují všechny rozdíly od jmenovitého rozměru, jako je ne zcela zaplněná dutina zápustky a její opotřebení, nedokování výšky, nerovnoměrné smrštění a menší vady povrchu výrobku. Nezastavitelnou vinu na nepřesnosti rozměrů má opotřebení dutiny zápustky. Je nejvýraznější tam, kde dochází k největšímu přesunu kovu. Smrštění zapříčiňuje nutnost konstruování zápustkových dutin větších právě o jeho velikost (asi 1 %). Nastavením správné výšky kovací teploty nebo zvolením správné velikosti polotovaru se dá zamezit nedokování výšky nebo neúplnému zatečení kovu v dutině zápustky.

Přesazení ( $p$ ) je rozměr o velikosti rozdílu přesazeného tvaru z jedné strany dělicí plochy oproti druhé straně ve směru rovnoběžném s dělicí plochou. Otřep ( $g$ ) je materiál vytečený mezi částmi zápustky. Přesazení a otřep jsou zobrazeny na obrázku 16a. Sestřižení ( $g$ ), viz obrázek 16b, je otisk, který zanechává na výkovku ostříhovací nástroj. Jejich dovolená velikost se rovná mínusové mezní úchylce výkovku ve směru kolmo k rázu v absolutní hodnotě. Jehla ( $a$ ), viz obrázek 16c, je výstupek, který vzniká na okraji stříhaných ploch. Dovolená velikost jehly se rovná plusové mezní úchylce výkovku ve směru rázu. Průhyb je úchylka střední přímky výkovku od roviny. Pro tyto zmíněné úchylky jsou předepsány jejich dovolené velikosti normou.



Obr. 16 Tvarové úchylky [26]

## 2.2 Kovací stroje [2], [13], [18]

Před návrhem nástroje pro kování je zcela nezbytné zvolit kovací stroj. Ten určuje právě i konstrukci zápustek, která se u jednotlivých strojů liší. Je volen podle výkovku (jeho tvaru a hmotnosti) a velikosti série. Mezi kovací stroje patří buchary a lisy. Pro určení potřebné velikosti stroje se vychází u bucharů z výpočtu rázové práce a u lisů z výpočtu kovací síly. Metoda určení velikosti zvoleného stroje se odlišuje, protože buchar působí na tvářený materiál údery a lis tlakem.

Lisy pro zápustkové kování se rozdělují na:

- Mechanické klikové kovací lisy (obr. 17):

U těchto lisů vytváří energii, která je využita pro tváření výkovku, stále se otáčející rotující setrvačnick. Setrvačnick je dále spojen s klikovou hřídelí přes spojku. Po sepnutí spojky se dá celý klikový mechanismus do pohybu, tudíž i beran spojený s klikovou hřídelí ojnící. Beran při pohybu směrem dolů vykonává přetvárnou práci a výkovek je tak tvarován do dutiny zápustky. Tyto lisy jsou vhodné pro výrobu součástí, u kterých dochází při tváření k většímu tečení kovu do stran. V konstrukci klikových lisů lze užít vyhazovačů, které slouží pro snadné vyjmutí výrobku z dutiny zápustky, a proto konstrukce výkovku může obsahovat menší úkosy. Nevýhodou pak je možný problém, kdy jsou okraje zakovány do povrchu výkovku, což snižuje jeho kvalitu. Proto musí být zajištěno jejich odfouknutí. Tyto aspekty však navyšují cenu lisu.

- Vřetenové lisy:

U vřetenových lisů akumuluje energii rotující setrvačnick. Beran je umístěn na vřetenu, které dává do pohybu právě setrvačnick. Hrozí zde přetížení stroje, což je zapříčiněno možným dosednutím ploch obou částí zápustek na sebe, proto se využívá otevřených zápustek. Tyto lisy se uplatňují pro výrobu výkovků z oceli i nezelezných kovů do 50 kg, např. ozubených kol. Na tento lis lze upnout zápustky, které se používají na bucharu i klikovém kovacím lisu.

- Vodorovné kovací lisy:

Konstrukce vodorovného kovacího lisu obsahuje jeden svěrací a jeden pěchovací beran. Zápustka je třídlílná s dvěma dělicími rovinami. Tento stroj se využívá pro výrobu osově souměrných součástí z tyčí, trubek a kroužků. Výhodou jsou minimální technologické přídavky, minimální boční úkosy a žádný výronek, či blána.

Buchary pro zápustkové kování se rozdělují na:

- Mechanické buchary:

Jedná se o padací buchary, jednočinné a dvojčinné. Jednočinné se dále dělí na deskové, řemenové a řetězové. U těchto typů bucharů je beran zvedán do určité výšky a následně puštěn volným pádem na tvářený materiál. U dvojčinných bucharů je pád beranu urychlován vhodným médiem stlačeným zpravidla při zvedání beranu.

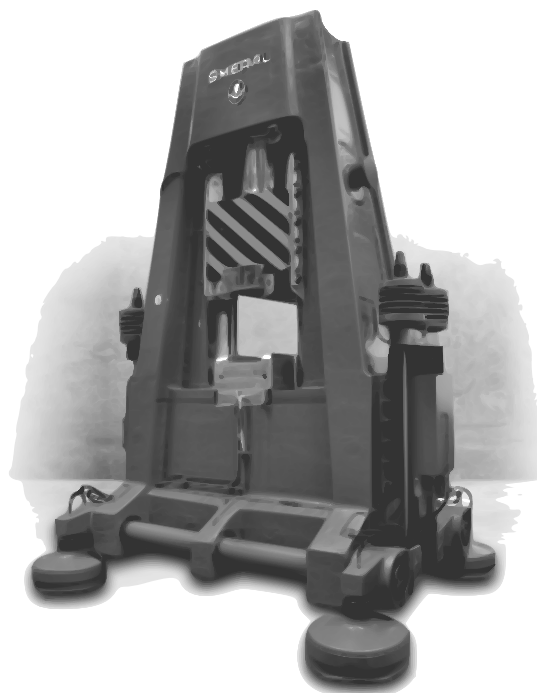
- Protiběžné buchary:

U protiběžných bucharů se, ve vzájemné vazbě, proti sobě pohybují dvě pracovní části. Např. dva berany spojené mechanickou, či hydraulickou vazbou. U pneumaticko – hydraulického protiběžného bucharu (obr. 18), či konstrukce beranu jehož pohyb je urychlován stlačeným vzduchem, působí hydraulicky nadzvedávaný stojan. Hydraulické válce, které zvedají stojan, jsou plněny tlakovou kapalinou od beranu. Proto zvedání stojanu a padání bucharu probíhá současně. Po nárazu vzniká tlaková energie, kterou je beran následně zvedán. Tyto berany slouží pro výrobu zpravidla plochých součástí v jedné dutině několika rázy, např. pro zhotovení ojnic, komunálního nářadí atd.

Buchary se oproti lisům považují za jednodušší, investičně a provozně levnější stroje vhodné např. pro zápustky s mělkou dutinou, kde není potřeba vyhazovačů. Proto bude pro zadanou součást volen právě buchar.



Obr. 17 Klikový kovací lis [30]

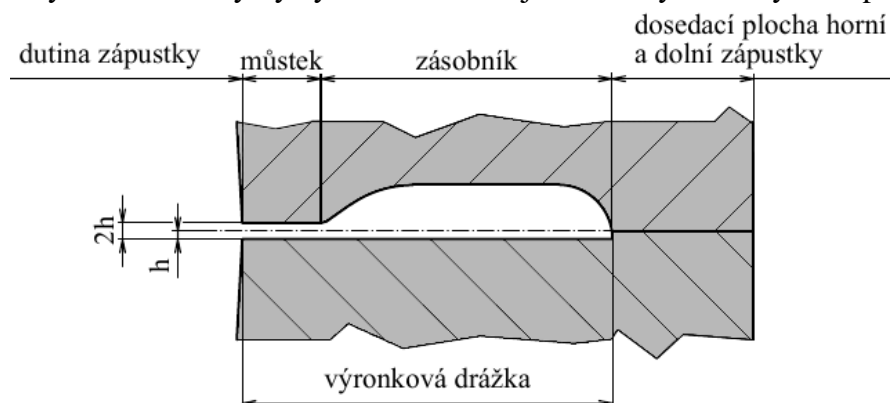


Obr. 18 Pneumaticko – hydraulický buchar [31]

### 2.3 Konstrukce zápustek pro buchary [13], [28], [29]

Zápustky se vyrábějí z masivních těles, ve kterých se zhotovují potřebné dokončovací, eventuálně přípravné dutiny. Plusové úchytky výkovku se rovnají minusovým dutiny a naopak.

Tvar a rozměry dokončovací dutiny se odvíjí od tvaru a rozměrů výkovku, od údajů o použitém materiálu a od zvoleného bucharu. Rozměry, které jsou větší než 10 mm, jsou pak zvětšeny o velikost smrštění výkovku potom co se ochladí (u běžných ocelí asi 1,0 –



Obr. 19 Obvyklá výronková drážka pro buchar [13]

1,3 %). Dále musí být zkonstruována výronková drážka kolem celého tvaru výkovku a umístěna na dělicí ploše. Drážka je složena z můstku a zásobníku. Můstek slouží pro zbrzdění kovu vyplňujícího dutinu tak, aby mohl zatéct po celém objemu dutiny a následně po kompletním zatečení přebytečný kov odtekl do jednostranného zásobníku výronkové drážky (obrázek 19). Pokud dochází na některém místě k většímu odtékání materiálu do zásobníku, vytváří se zde zásobník oboustranný. Vzorec pro výpočet výšky můstku je následující:

$$2h = (0,015 \text{ až } 0,012) \cdot \sqrt{S_d} \quad (2.3)$$

kde:  $h$  – polovina výšky můstku [mm],

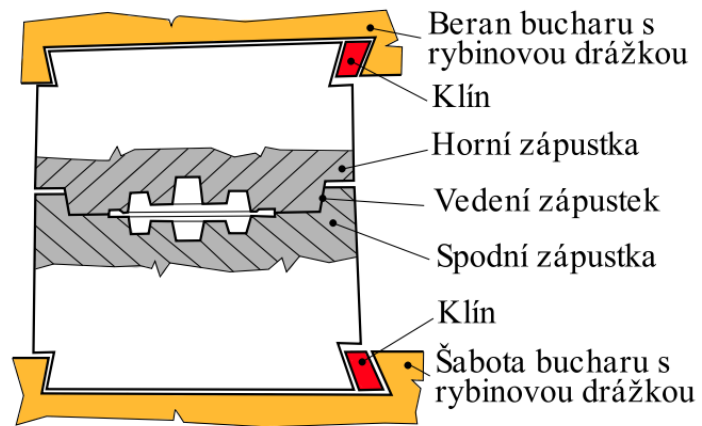
$S_d$  – průmět plochy výkovku v dělicí ploše [mm<sup>2</sup>].

Hodnoty 0,015 až 0,012 se volí podle velikosti výkovku. Podle vypočítané výšky můstku se dále volí další rozměry výronkové drážky z normy nebo tabulek.

Při rozmísťování dutin na zápustce je zapotřebí dodržovat určitá kritéria. Jak již bylo zmíněno v zápustkách se zhotovují dutiny dokončovací, eventuálně přípravné. Nejvíce namáhaná dutina (nejčastěji dokončovací) musí ležet svým středem ve středu zápustky a tím i v ose beranu bucharu. Ostatní dutiny leží v zápustce tak, že čím více jsou namáhané, tím blíže jsou umístěné k nejvíce namáhané dutině. Dále je výhodou, pokud to jde, aby byly dutiny umístěny podle sledu jednotlivých kroků a buchar byl umístěn blízko ohřívacího zařízení a ostřihovacího lisu.

K vycentrování horní a dolní části zápustky se často používá kolíků nebo vedení, jako je vidno na obrázku 18. V případě, kdy se zápustky takto nestředí, vyrábí se kontrolní roh. Jedná se o dvě přesné výchozí na sebe kolmé plochy sloužící pro výrobu zápustek, pro kontrolu proti přesazení horní a dolní části zápustky (což lze kontrolovat pouhým hmatem, či vizuálně), odměřují se od něj polohy dutin a funkční rozměry. Na výkrese bývá zápustka kótována právě od těchto ploch.

Zápustky se upínají do bucharu přes plochy v podobě rybin a drážek pro středící pero. Spodní část zápustky je vložena skrze rybinu do rybinové drážky (drážka je širší než rybina) v šabotě bucharu, do vzniklé mezery je zatlučen klín, viz obrázek 20. Horní část zápustky je umístěna do beranu bucharu obdobně. Klín je vyroben s podélným úkosem 1:100 a se sklony bočních stěn lišících se minimálně o 2°. Tímto jsou zápustky zajištěny v příčném směru. V podélném směru dochází k zajištění pomocí zmíněného pera. Pokud je zápustka pro dané rybinové drážky bucharu příliš malá, využívá se držáků. Ty se vkládají mezi šabotu nebo beran a zápustky. Upínání držáků a zápustek je řešené stejným způsobem.



Obr. 20 Schéma upnuté zápustky bucharu [13]

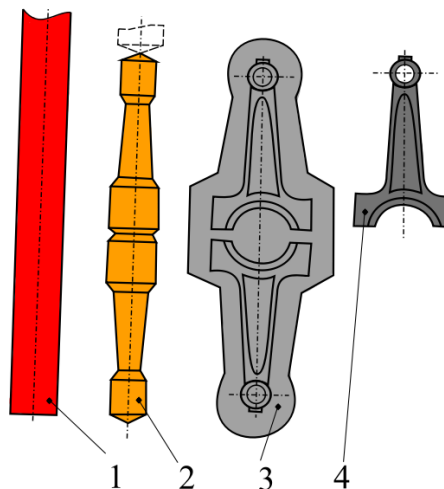
Při konstrukci zápustek je třeba respektovat i potřebnou velikost styčných ploch. Ty musí být bráněny proti pěchování. Pro dvojčinné buchary se uvádí za vhodné minimální velikost ploch o 300 mm<sup>2</sup> na 1000 kg hmotnosti beranu. Tato podmínka platí pro rovnoměrně rozložené styčné plochy zápustky proti plochám tělesa zápustky. Styčné plochy nebo též vybíjející plochy slouží pro přenesení přebytečné energie dopadajícího beranu do základního tělesa.

Materiály, z kterých se vyrábí zápustky musí splňovat přísná kritéria např. vysokou tvrdost a houževnatost, vysokou pevnost za tvářecích teplot, vysokou odolnost proti tepelným rázům a odolnost proti otěru, dobrou obrobiteľnosť atd. Často používané materiály, z kterých se vyrábí střední a velké zápustky, jsou chromniklové oceli, přesněji 19 650, 19 662 a 19 663. Důležité je zušlechťení zápustek. Pro to je vhodná ocel 19 642, která se používá speciálně pro výrobu velkých bucharových zápustek. Naopak pro malé zápustky se složitou dutinou se používá ocel s příměsí wolframu typu 19 721 a 19 723, ale jejich nevýhodou je, že při rychlých změnách teploty mohou praskat. Doporučená pevnost po zušlechťení se z největší části odvíjí od velikosti tělesa zápustky a hloubky dutiny (menší zápustky se zušlechťují na větší pevnost než ty větší).

Životnost zápustek se dá prodloužit nejenom vhodným materiálem, ale i úpravou povrchu dutiny. Např. pokud dutina disponuje drsností povrchu 0,2 μm má o 100% vyšší odolnost, než by měla s drsností 2 μm. Dále pomáhá k zvýšení životnosti chlazení zápustek a jejich přehřev na provozní teplotu, která se doporučuje v rozsahu 200 až 300°C.

## 2.4 Postup kování na bucharu [13], [18]

Postup kování a tvar výchozího polotovaru je předurčen tvarem výkovků. Při kování výkovků charakteru kotoučů a podobných rotačních i nerotačních tvarů, je výchozím polotovarem špalík. Ten je založen do zápustek tak, že jeho podélná osa je svislá a zpravidla na více úderů je postupně, v jedné dutině "pěchován". U výkovků s dlouhou hlavní osou, jako jsou např. ojnice, páky apod., je výchozí polotovar zakládán do zápustek s osou v horizontální poloze, kolmo na směr úderu beranu. U těchto výkovků bývají značné rozdíly ve velikostech příčných průřezů podél podélné osy. Do postupu kování je zde nezbytné zařadit předkování, které spočívá ve vhodném přerozdělení materiálu podél osy polotovaru. Toto přerozdělení materiálu se uskutečňuje v předkovacích dutinách umístěných v zápustce, nebo v jiném, nejčastěji válcovacím, stroji.



Obr. 21 Postup kování dvojkusu [13]

Pokud jde o malé výkovky kované v menších sériích, zhotovují se s předkováním v předkovacích dutinách přímo z tyčí. Kovací zápustka je vícedutinová, postupová. Kováním v postupové zápustce se může zhotovit výkovek na konci tyče, následně jej lze odseknout na úťince a postup se opakuje. V dnešní době se však využívá zejména druhý způsob předkování s využitím válcování. K zhotovení předkovku se využívá zejména metoda příčného klínového válcování. Vyžaduje-li se nerotační tvar předkovku pak také podélné válcování na kovacích válcích.

V následujícím textu se bude pojednávat o příčném klínovém válcování (to je dále rozebráno v další podkapitole), které pro výrobu předkovku (vývalku) využívá také tyčí, případně se vychází z přířezu požadované délky připraveného z tyče. Příklad takového postupu kování dvojkusu ojnice je na obr. 21. Na začátku procesu se z konce tyče, která byla ohřáta na kovací teplotu (1), vyválcuje vývalek (2). Ten se jeví jako dvojkus pro výrobu budoucího výkovku dvou ojníc spojených výronkem, který je následně vykován v bucharu. Výronek je ostřížen na ostříhovacím lise a dva samostatné výkovky ojnice (4) jsou hotovy.

Polotovar pro výkovek musí mít daný objem ( $V_{pol}$ ), který lze vypočítat sečtením objemu výkovku ( $V_v$  – uvádí výkres), objemu materiálu vytečeného ve výronku ( $V_{výr}$ ) a objemu materiálu ztraceného při ohřevu polotovaru ( $V_o$ ) v podobě okují. Vzorec pro výpočet objemu polotovaru vypadá tedy následovně:

$$V_{pol} = V_v + V_{výr} + V_o \quad (2.4)$$

kde:  $V_{pol}$  – objem polotovaru [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_v$  – objem výkovku [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_{výr}$  – objem výronku [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_o$  – objem spotřebovaný na opal [ $\text{mm}^3$ ].

Objem výronku se vypočítá:

$$V_{výr} = (0,6 \text{ až } 0,8)V_{vd} \quad (2.5)$$

kde:  $V_{výr}$  – objem výronku [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_{vd}$  – objem výronkové drážky [ $\text{mm}^3$ ].



Objem materiálu ztraceného při ohřívání se liší vzhledem k použitému zařízení:

- Plynové pece:  

$$V_o = (0,025 \text{ až } 0,03)V_v \quad (2.6)$$
 kde:  $V_o$  – objem spotřebovaný na opal [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_v$  – objem výkovku [ $\text{mm}^3$ ].

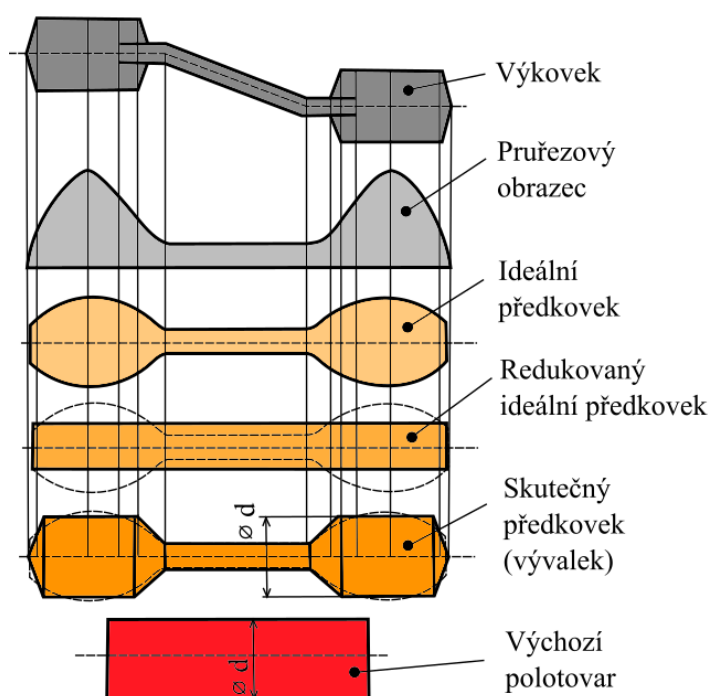
- Elektrické odporové pece:  

$$V_o = (0,01 \text{ až } 0,015)V_v \quad (2.7)$$
 kde:  $V_o$  – objem spotřebovaný na opal [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_v$  – objem výkovku [ $\text{mm}^3$ ].

- Elektrické indukční pece:  

$$V_o = (0,005 \text{ až } 0,01)V_v \quad (2.8)$$
 kde:  $V_o$  – objem spotřebovaný na opal [ $\text{mm}^3$ ],  
 $V_v$  – objem výkovku [ $\text{mm}^3$ ].

U výkovků jednoduchých tvarů se objem výchozího polotovaru určí výpočtem, to se s výhodou uplatňuje u rotačních tvarů. K určení objemu výchozího polotovaru u složitých podlouhlých výkovků se užívá průřezového obrazce. Touto metodou (obrázek 22) lze určit i rozměry polotovaru, předkovku a také tvar předkovku. V první řadě je potřeba zhotovit příčné řezy vedené výkovkem a vypočítat jejich plochy. Dále jsou vyneseny obsahy ploch jednotlivých průřezů ve vhodném měřítku, v podobě pořadnic. Jejich koncové body jsou následně spojeny, čímž vznikne průřezový obrazec. K ploše průřezového obrazce se musí také připočítat plocha příčného průřezu výronku. Tvar ideálního



Obr. 22 Stanovení tvaru polotovaru složitějších výkovků [13]

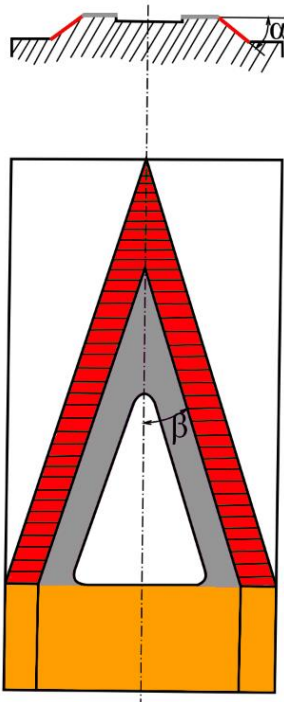
předkovku se získá následným přepočtem ploch průřezového obrazce na plochy s kruhovým průřezem a vypočtením průměru těchto ploch. Redukovaný ideální předkovek se získá z objemu pod křivkou průřezového obrazce (objem výkovku a výronku). Průřezový obrazec se liší od redukovaného průřezového obrazce, který zároveň odpovídá redukovanému ideálnímu předkovku, v množství kovu, který se musí přemístit v předkovacích dutinách podél své osy ze dříku do hlavy předkovku.

V případě použití technologie příčného klínového válcování pro přemístění materiálu se tvar skutečného předkovku (vývalek) stanoví z tvaru ideálního předkovku. Výchozí polotovar bude mít pak průměr shodný s maximálním průměrem vývalek ( $\varnothing d$ ), jak je vidno na obrázku 22. Délka výchozího polotovaru se dopočítá z potřebného objemu.

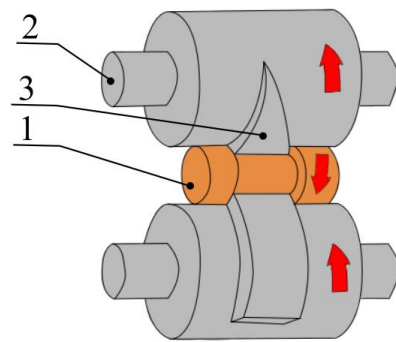
## 2.5 Příčné klínové válcování [13], [17], [19]

Na začátku procesu příčného klínového válcování (dále jen PKV) se ohřeje tyč (1) na kovací teplotu, která je následně umístěna mezi dva stejnosměrně rotující válce (2) s pracovními segmenty (3), viz obr. 23. Otáčením mezi válci vznikne požadovaný tvar předkovku.

PKV se běžně používá pro výrobu předkovků pro zápusťkové kování např. z přístřihů a špalíku. Kdy výkovkem jsou ojnice, páky atd. Nebo pro polotovary rotačních součástí (hřídele, čepy atd.), které se následně obrobí. Tímto způsobem lze zhotovit i hodně složité rotační tvary v jedné operaci.



Obr. 24 Rozvinutý nástroj pro PKV [17]



Obr. 23 Schéma PKV [20]

Nástroje pro PKV jsou vyráběny z otěruvzdorné nástrojové oceli, aby dosáhli co největší životnosti. Jejich pracovní část se skládá z redukčních, vyrovnávacích a hladících ploch viz rozvinutý nástroj pro PKV s úhly a barevně zvýrazněnými plochami na obrázku 24. Redukční plochy (červené) se skládají z jedné levochodé a druhé pravochoché šroubové plochy. Jejich funkcí je zmenšování průměru špalíku. Tyto plochy se zdrsňují opískováním nebo zářezy, které jsou vhodnější, aby nedocházelo k prokluzu mezi nástrojem a budoucím předkovkem. Na ně navazují vyrovnávací plochy (šedé), slouží k vyhlazení a uchování sousosti původního a tvářeného průměru. Hladící plochy (oranžové) pak mají za úkol finální kalibraci. Úhel  $\beta$  tzv. úhel klínu svírá šroubovice s osou nástroje v rozvinutém stavu a má vliv na záběr. Úhel  $\alpha$  tzv. úhel redukční svírá redukční plochy s osou šroubových ploch, má vliv na rozložení tvářecí síly. Při špatně nastavené velikosti úhlů vznikají v materiálu dutiny nebo dochází k nechtěnému prodlužování a tím i k zmenšování tvářeného průměru.

## 2.6 Výpočet velikosti bucharu [13], [28]

Při určení velikosti bucharu se vychází z práce potřebné k deformaci materiálu v posledním úderu beranu. V posledním úderu, protože je zde odpor od tvářeného materiálu proti deformaci největší. Práce potřebná na zhotovení kruhového výkovku ( $A$ ) s průměrem menším, než 600 mm se vypočítá ze vztahu:

$$A = 18(1 - 0,005D_d) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_d}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001D_d^2)D_d\sigma_p \quad [\text{J}] \quad (2.9)$$

Výpočet práce potřebné na zhotovení nekruhového výkovku ( $A_n$ ) vychází ze stejného vzorce, avšak namísto průměru ( $D_d$ ) je dosazen redukovaný průřez ( $D_{\text{dred}}$ ). Výpočet je následovný:

$$A_n = A \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_d}{B_{\text{dstř}}}}\right)^2 \quad [\text{J}] \quad (2.10)$$

kde:  $L_d$  – délka výkovku [cm],

$B_{\text{dstř}}$  – střední šířka výkovku, tj. poměr plochy k délce [cm].

Při stanovení velikosti padacích bucharů se z vypočtené práce určí potřebná hmotnost beranu ( $m$ ) pro jednočinný nebo dvojčinný buchar kovající kruhový výkovek (pro nekruhový výkovek se namísto  $A$  dosadí  $A_n$ ).

- Jednočinný:

$$m = \frac{A}{1,1} \quad [\text{kg}] \quad (2.11)$$

- Dvojčinný:

$$m = \frac{A}{1,8 \text{ až } 2,8} \quad [\text{kg}] \quad (2.12)$$

Velikost protiběžných bucharů se volí podle práce, zpravidla je zvolen buchar o totožné velikosti nebo nejbližší vyšší.

## 2.7 Ostřihování zápustkových výkovků [28]

Ostřihováním zápustkových výkovku se rozumí oddělení výronku, či blány od výkovku. Tento proces probíhá zpravidla bezprostředně po vykování výkovku za dokovací teploty, kdy je k ostřihování potřeba menší síly, než by tomu bylo za studena. Avšak menší výkovky se mohou ostřihovat i za studena, větší a složitější výkovky vždy za tepla. Jako zařízení pro ostřihování výronku, případně děrování blány, slouží mechanické, či hydraulické lisy.

Velikost zvoleného lisu závisí na velikosti stříhané plochy a pevnosti materiálu ve stříhu za dané teploty ( $\sigma_s$ ). Síla se zvětšuje až 1,7 x, protože střížník nedosedá na střížnici. Pro bezpečnost (nižší teplota výkovku) je volen dvounásobek výšky výronku ( $h$ ). Dále je dosazen obvod výronku ( $o$ ). Střížná síla ( $F_s$ ) se vypočte podle vzorce:

$$F_s = 1,7 \cdot 0,8 \cdot \sigma_s \cdot o \cdot 2 \cdot 2h = 2,7 \cdot \sigma_s \cdot o \cdot 2h \quad (2.13)$$

### 3 NÁVRH VÝROBY

Řešenou součástí je oko pístnice, viz obr. 3, o celkové délce 126 mm a šířce 64 mm, s vnějším závitem M24 x 2 vyráběné z materiálu C45E a velikostí série 45 000 ks. Součást bude zhotovena technologií zápusťkového kování na bucharu s výronkovou drážkou. Předkovek z přířezu tyče, ohřátý v indukčním ohříváči, bude zhotoven technologií PKV jako dvojkus orientovaný dríky k sobě. Výronek se dále ostříhne společně s blánou. Další technologií bude obrábění pro opracování funkčních ploch. Hlavním tématem v této bakalářské práci je však zápusťkové kování. V této kapitole budou tedy provedeny všechny potřebné úlohy vedoucí k dosažení optimální výroby pro toto zadání.

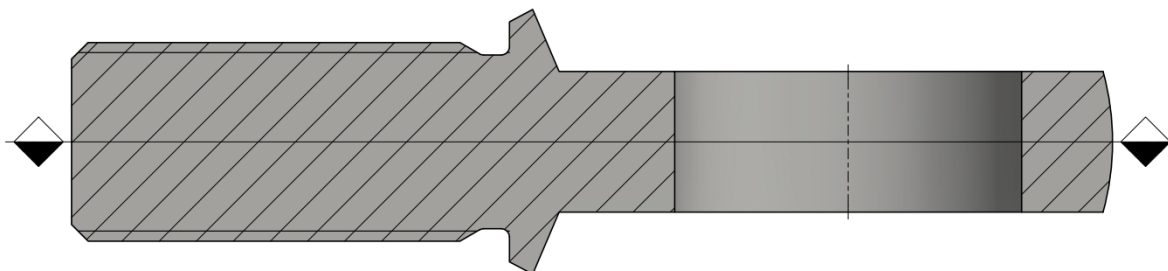
#### 3.1 Konstrukce výkovku

Tvar součásti musí být upraven ve výkovek tak, aby jej šlo bez problému vyrobit. Proto se musí dodržovat následující náležitosti, které byly voleny dle normy ČSN 42 9030.

Konstrukce výkovku se skládá z těchto kroků:

- Volba dělicí roviny:

Pro tuto součást byla zvolena přímá dělicí rovina, podle které je výkovek symetrický, viz obr. 25. Dělicí rovina je umístěna v největším průřezu výkovku, což zajišťuje jeho snadné vyjmutí z kovací zápusťky.



Obr. 25 Umístění dělicí roviny

- Volba přídavků na obrábění:

Přídavky na obrábění jsou voleny na funkčních plochách. Slouží k obrobení výkovku na požadovanou rozměrovou a povrchovou přesnost. Velikost přídavku byla volena dle tabulky 2 pro obvyklé provedení. Podle ní velikost daného přídavku byla určena ze střední hodnoty šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu a největší výšky. Střední hodnota byla vypočtena tímto vztahem:

$$\bar{x} = \frac{l_{sc} + b_{sc}}{2} = \frac{126 + 64}{2} = 95 \text{ mm} \quad (3.1)$$

kde:  $l_{sc}$  – celková délka součásti [mm],  
 $b_{sc}$  – celková šířka součásti [mm].

Největší výška součásti je pak 32 mm. Střední hodnota dle tabulky 2 patří do intervalu 100 až 160 mm a výška do intervalu 25 až 40 mm. Průsečíkem těchto intervalů je hodnota 2,5 mm, která byla zvolena jako hodnota přídavků na obrábění ploch. Přídavky budou zkonstruovány na vnitřním průměru o velikosti 42 mm (tudíž u výkovku se bude jednat o velikost 37 mm), na vnějším závitu M24 x 2 a na čelech oka.

- Volba technologických přídavek:  
Zde je potřeba určit úkosy, zaoblení a tloušťku blány tak, aby byl výkovek vhodný pro technologii zápustkového kování.

- Úkosy:

Úkosy jsou zhotovovány na vnitřních i vnějších plochách kolmých na dělicí rovinu a slouží pro snazší vyjmutí výkovku ze zápustky. Běžná velikost úkosů podle tabulky 3 je pro vnější plochy  $3^\circ$  a pro vnitřní  $7^\circ$ . Dále lze určit velikost úkosů podle typu zvoleného kovacího zařízení. V tomto případě jsou však zvoleny běžné velikosti úkosů, tedy  $3^\circ$  a  $7^\circ$ . Tyto úkosy budou zhotoveny na vnitřním průměru zvětšeném o přídávky na obrábění (velikost průměru 37 mm) a na čele dřívku, viz obr. 26. Na průměru 64 mm jsou úkosy nahrazeny kulovým rádiusem, což je možné z důvodu malé hloubky dutiny zápustky.

- Blána:

Blánu je nutno zrealizovat v otvoru oka a bude se nacházet svým středem na dělicí rovině, tudíž uprostřed výšky otvoru. Velikost blány lze vypočítat podle vztahu (2.1):

$$s = 0,45\sqrt{37 - 0,25 \cdot 11 - 5} + 0,6\sqrt{11} = 4,4 \text{ mm} \quad (2.1)$$

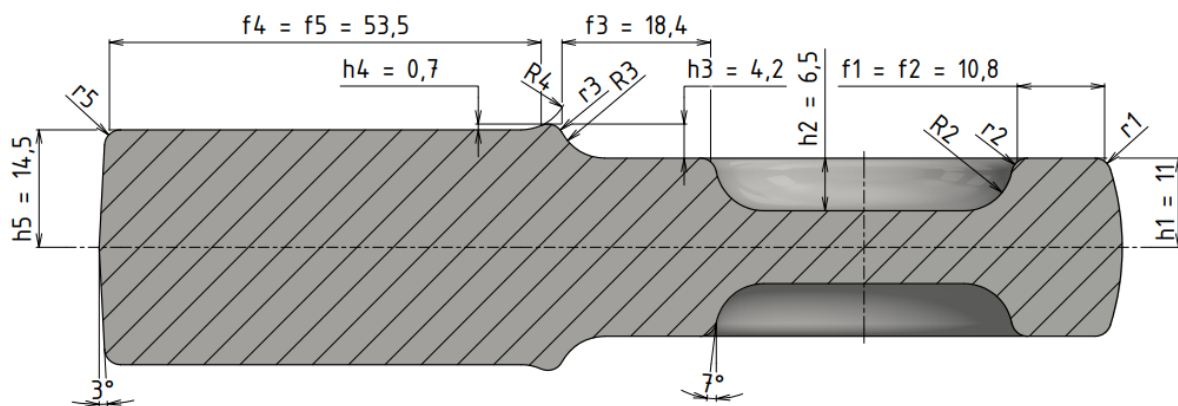
Výsledná hodnota však neodpovídá nejmenší tloušťce blány dle tabulky 5. Podle této tabulky, ve které byla hodnota tloušťky blány určena z největšího rozměru výkovku ve směru kolmo k rázu (126 mm) a největší výšky výkovku (32 mm), je nejmenší tloušťka blány 9 mm. Tato tloušťka bude zkonstruována na výkovku.

- Zaoblení hran r a přechodů R:

Velikost zaoblení se určí podle tabulky 4, kdy je potřeba spočítat poměry mezi výškami ( $h_i$ ) a vzdálenostmi ( $f_i$ ) výkovku, viz obr. 26. Podle tohoto poměru a výšky ( $h_i$ ) se pak určí velikost zaoblení. Vzorový výpočet pro určení  $r_2$  a  $R_2$ :

$$\frac{h_2}{f_2} = \frac{6,5}{10,8} = 0,6 \rightarrow r_2 = 2 \text{ mm}; R_2 = 6 \text{ mm} \quad (3.2)$$

Všechny velikosti zaoblení jsou zobrazeny v tabulce 8.



Obr. 26 Obrázek pro určení velikosti zaoblení hran r a přechodů R výkovku

Tab. 8 Velikost zaoblení hran r a přechodů R.

Zaoblení	Výška $h_i$ [mm]	Šířka $f_i$ [mm]	Poměr $h_i/f_i$	Zaoblení hrany $r_i$ [mm]	Zaoblení přechodu $R_i$ [mm]
1	11	10,8	1,02	2	-
2	6,5	10,8	0,60	2	6
3	4,2	18,6	0,23	2	6
4	0,7	53,5	0,01	-	6
5	14,5	53,5	0,27	2	-

### 3.2 Úchytky rozměrů a tvarů výkovku

V tomto případě, pomocí normy ČSN 42 9002, je pro určení mezních úchylek v první řadě potřeba zařadit výkovku číselné označení složitosti tvaru, což bylo zvoleno následovně:

- Tvarový druh:  
9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- Tvarová třída:  
3 s hlavou a jedním ramenem
- Tvarová skupina:  
 $3 L \leq 3B$ ;  $B > 2B_1$ ;  $H \leq 2H_1$
- Tvarová podskupina:  
0 bez přesahu
- Technologické hledisko:  
1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy souměrné

Označení výkovku je tedy 9330.1.

Dále se podle tohoto označení určí z tabulky 6 (norma 42 9030) stupně přesnosti rozměrů pro obvyklé provedení, což je dosahováno obecně na bucharech. Rozměry kolmé k rázu budou zhotoveny s přesností IT6, stejně tak budou zhotoveny rozměry rovnoběžné s rázem.

Mezní úchytky a tolerance rozměrů výkovku podle stupně přesnosti 6 se pak určí z tabulky, viz příloha 1, dle poloviny součtu největší délky (126,8 mm) a šířky (64 mm) výkovku ve směru kolmo k rázu a největší výšky výkovku ve směru rázu (32 mm). Výpočet poloviny součtu největší délky a šířky výkovku ve směru kolmo k rázu:

$$\bar{y} = \frac{l_{vc} + b_{vc}}{2} = \frac{126,8 + 64}{2} = 95,4 \text{ mm} \quad (3.3)$$

kde:  $l_{vc}$  – celková délka výkovku [mm],  
 $b_{vc}$  – celková šířka výkovku [mm].

Tato hodnota patří v tabulce 6 do intervalu od 63 do 100 mm. Průsečíkem zmíněného intervalu a intervalu, do kterého spadá největší výška výkovku ve směru rázu o velikosti 32 mm, je hodnota mezních úchylek výkovku +1,7 a -0,8 mm s tolerancí 2,5 mm. Tyto hodnoty platí pro rozměry kolmé k rázu i pro rozměry rovnoběžné s rázem.

Mezní úchytky zaoblení hran r a přechodů R se určí pomocí hodnot z tabulky 7, které se vynásobí s hodnotou velikosti příslušného zaoblení. V tomto případě je velikost mezních

úchylek pro zaoblení hran  $r +0,5$  a  $-1$  mm a pro zaoblení přechodů  $R +3$  a  $-1,5$  mm, protože spadají do prvního intervalu.

Hodnota maximálního dovoleného přesazení (p), sestřížení (g) a otřepu (g) se rovná minusové hodnotě mezní úchytky rozměrů kolmo k rázu v absolutní hodnotě. Může být tedy napsáno, že  $p; g \leq 0,8$  mm. Dovolená velikost jehly (a) se rovná plusové mezní úchytky výkovku ve směru rázu, tedy  $a \leq 1,7$  mm.

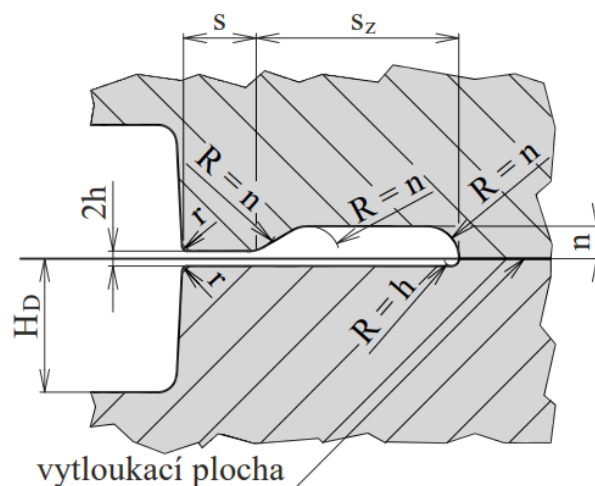
### 3.3 Tvar a rozměry výronkové drážky

Byla zvolena uzavřená výronková drážka obvyklého typu (obr.19), dle normy ČSN 22 8308, která se používá zpravidla pro buchar. Její rozměry vychází z výšky můstku, který se vypočte dle vzorce (2.3):

$$2h = 0,015 \cdot \sqrt{5201,6} = 1,08 \text{ mm} \quad (2.3)$$

Hodnota 0,015 byla zvolena z důvodu malé velikosti výkovku. Průmět plochy výkovku v dělicí ploše o velikosti  $5201,6 \text{ mm}^2$  byl spočten programem Autodesk Inventor Professional 2021. Hodnota výšky můstku se dále musí, podle tabulky uvedené v příloze 2, zaokrouhlit na nejbližší vyšší normalizovanou velikost, protože kov, který poteče můstkem, by se zde mohl zaseknout kvůli rychlému odvodu tepla. Číselné označení, zvolené velikosti můstku v tabulce, je 4. Rozměry výronkové drážky, uvedené na obr. 27, jsou:

- Výška můstku:  
 $2h = 1,6 \text{ mm}$
- Hloubka zásobníku:  
 $n = 3,5 \text{ mm}$
- Šířka můstku:  
 $s = 8 \text{ mm}$
- Šířka zásobníku:  
 $s_z = 22 \text{ mm}$
- Plocha průřezu výronku:  
 $S_{\text{výr}} = 102 \text{ mm}^2$



Obr. 27 Obvyklá výronková drážka pro buchar se zakótovanými rozměry

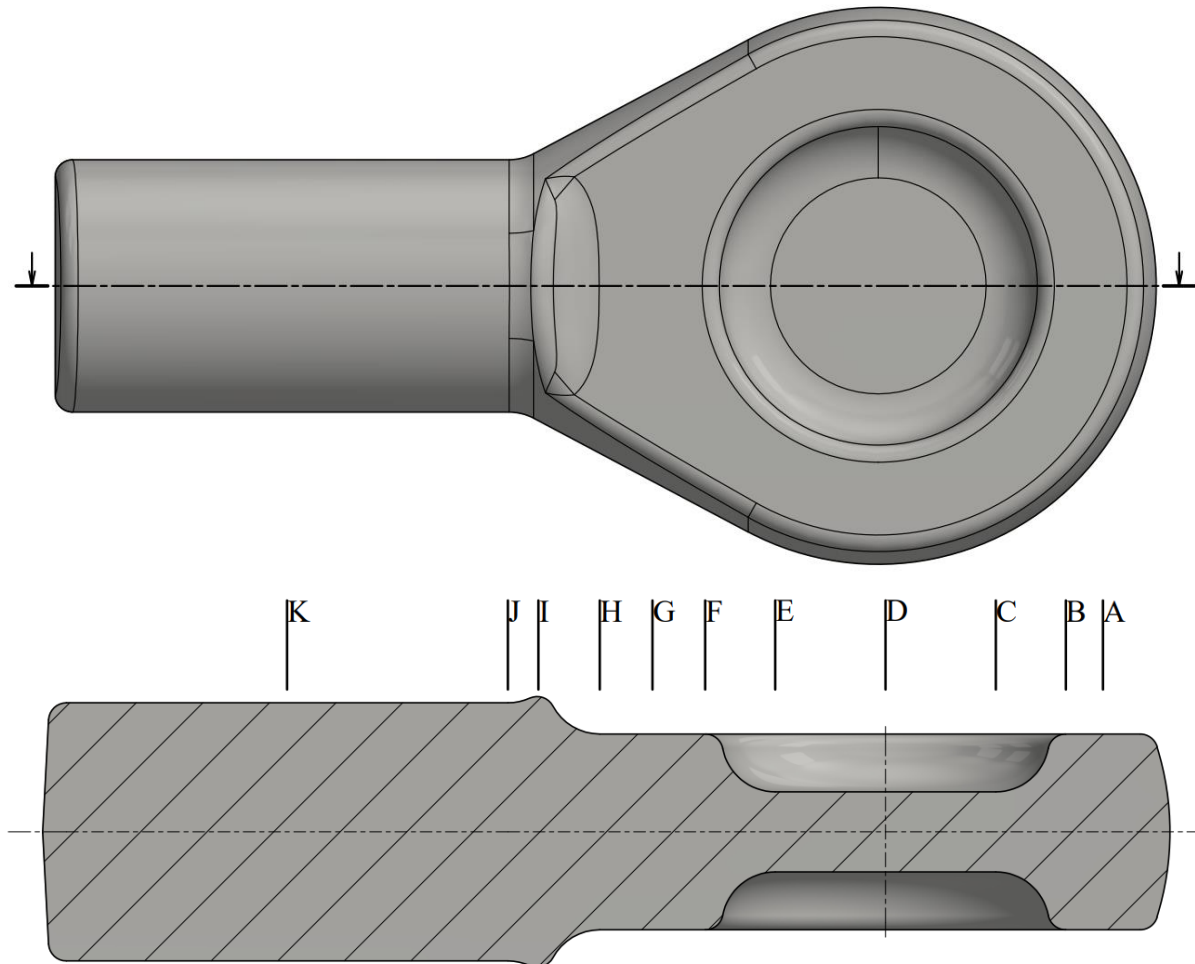
Přechodový rádius (r) mezi dutinou zápusťky a výronkovou drážkou se vypočítá dosazením průmětu plochy výkovku v dělicí ploše ( $S_D$ ) a hloubky spodní dutiny zápusťky ( $H_D$ ) do následujícího vzorce:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D = \frac{\sqrt{5201,6}}{200} + 0,04 \cdot 11 = 0,8006 \text{ mm} \quad (3.4)$$

Pro konstrukci výronkové drážky bude zvolena hodnota přechodového rádiusu (r) 0,5 mm. Zvýší se tak životnost, protože toto zaoblení se postupným opotřebením dutiny zápusťky bude zvětšovat.

### 3.4 Návrh rozměrů polotovaru

Jak už bylo popsáno v kapitole 2.4, k určení objemu výchozího polotovaru u složitých podlouhlých výkovků se užívá průřezového obrazce. V první řadě je potřeba určit pozice příčných řezů vedených výkovkem, minimálně v místech, ve kterých dochází ke změně tvaru (čím více řezů, tím přesnější výsledek potřebného objemu polotovaru), viz obr. 28.



Obr. 28 Pozice řezů vedených součástkou pro určení objemu polotovaru

Dále se spočítají plochy těchto řezů ( $S_i$ ), což bylo provedeno v CAD systému Autodesk Inventor Professional 2021. K hodnotám plochy řezů se přičte plocha výronkové drážky z obou stran výkovku (proto číslo 2 ve vzorci), je počítáno se zaplněním výronkové drážky ze 75 % (proto číslo 0,75 ve vzorci). Vzorec pro výpočet plochy řezů s plochou výronku ( $S_{svi}$ ) je tedy:

$$S_{svi} = S_i + S_{výr} \cdot 2 \cdot 0,75 \quad (3.5)$$

Hodnotu, která vzejde z tohoto vzorce je potřeba navýšit o propal. U indukční pece na výkovku tvoří okuje asi 1 % materiálu, tudíž vzorec pro výpočet plochy řezu s plochou výronku a propalem ( $S_{oi}$ ) vypadá následovně:

$$S_{oi} = S_{svi} \cdot 1,01 \quad (3.6)$$

Pak se vypočte průměr ideálního předkovku ( $D_i$ ) v místech řezu přepočtem ploch průřezového obrazce na plochy s kruhovým průřezem podle:



$$S_{oi} = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \rightarrow D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{oi}}{\pi}} \quad (3.7)$$

Vzorový výpočet pro řez na pozici A je podle vzorce (3.5), (3.6) a (3.7) následovný:

$$S_{sv_A} = 858 + 102 \cdot 2 \cdot 0,75 = 1011 \text{ mm}^2$$

$$S_{o_A} = 1011 \cdot 1,01 = 1021,1 \text{ mm}^2$$

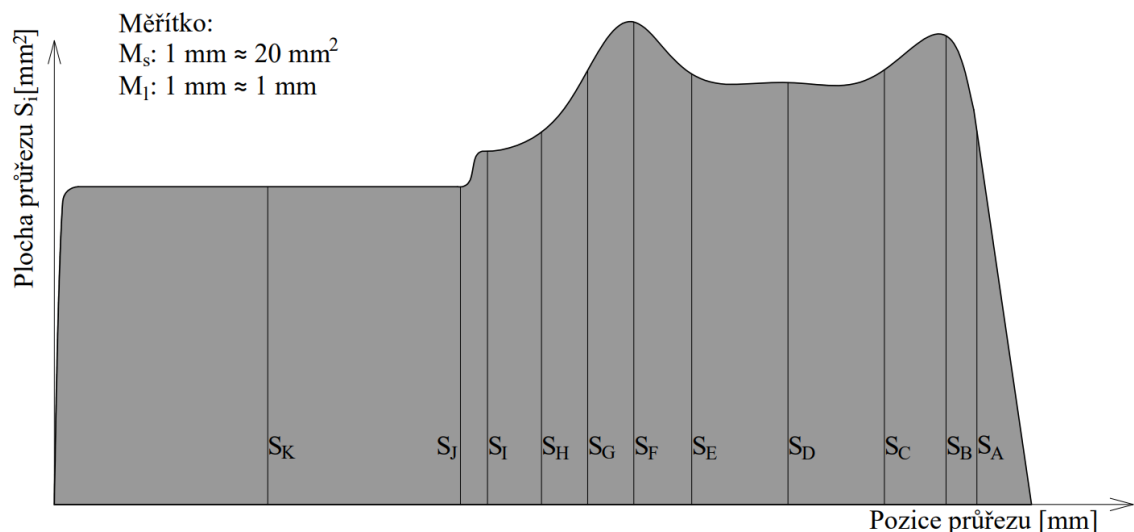
$$D_A = \sqrt{\frac{4 \cdot 1021,1}{\pi}} = 36,06 \text{ mm}$$

V tabulce 9 jsou uvedeny výsledky všech ploch, průměrů a vzdáleností od pozice řezu A.

Tab.9 Hodnoty pro návrh polotovaru.

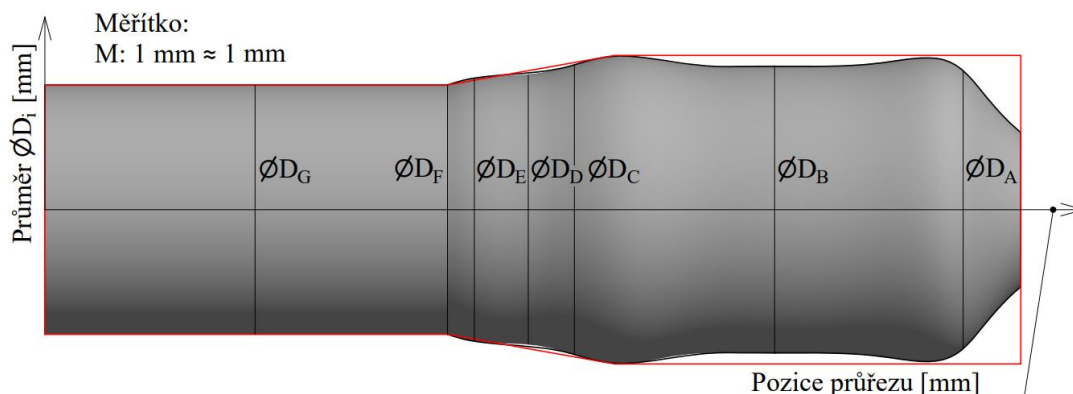
Pozice průřezu	Vzdálenost řezu k pozici řezu A [mm]	Plocha řezu $S_i$ [mm <sup>2</sup> ]	Plocha řezu s výronkem $S_{svi}$ [mm <sup>2</sup> ]	Plocha řezu s výronkem a propalem $S_{oi}$ [mm <sup>2</sup> ]	Odpovídající kruhový průřez $D_i$ [mm]
A	0	858	1011	1021,1	36,06
B	4	1051	1204	1216	39,35
C; E	12; 37	955	1108	1119,1	37,75
D	24,5	928	1081	1091,8	37,28
F	44,5	1084	1237	1249,4	39,88
G	50,5	945	1098	1109	37,58
H	56,5	795	948	957,5	34,92
I	63,5	752	905	914,1	34,12
J; K	67; 92	661	814	822,1	32,35

Po vypočtení ploch řezů s výronkem a propalem je možné vytvořit průřezový obrazec, vynesení pořadnic do grafu a jejich následným spojením, který je zobrazen na obr. 29.



Obr. 29 Průřezový obrazec

Pro vytvoření ideálního předkovku budou do grafu vyneseny vypočtené průměry, které se spojí. Tím se docílí zobrazení ideálního předkovku (obr. 30). Tvar ideálního předkovku se však metodou PKV nezhotovuje kvůli jeho složitosti. Proto bude tvar skutečného předkovku upraven podle červeného obrysu zobrazeného na obr. 30.



Obr. 30 Ideální předkovek a obrys skutečného předkovku

Objem výchozího polotovaru ( $V_{pol}$ ) byl spočten, programem Autodesk Inventor Professional 2021, jako plocha pod křivkou průřezového obrazce. Jeho velikost je  $119\,512,24\text{ mm}^3$ . Objem je nutno znát k určení délky polotovaru.

Dále je potřeba zvolit průměr polotovaru, který je potřeba znát také pro určení délky polotovaru. Průměr polotovaru ( $D_{pol}$ ) bude zvolen podle největšího průměru ideálního předkovku jako nejbližší vyšší, z tabulky (ČSN EN 10060) zobrazené v příloze 3, poněvadž PKV lze tvářený polotovar pouze redukovat. Nejbližší vyšší průměr je tedy 40 mm.

Tedy už je možné určit délku polotovaru ( $L_{pol}$ ) z následujícího vzorce:

$$L_{pol} = \frac{4V_{pol}}{\pi \cdot D_{pol}^2} = \frac{4 \cdot 119\,512,24}{\pi \cdot 40^2} = 95,1\text{ mm} \quad (3.8)$$

Tento výsledek je však potřeba ještě zdvojnásobit, poněvadž budoucí oko pístitnice bude kováno jako dvojkus, a přičíst k němu velikost můstku mezi oběma kusy:

$$L'_{pol} = 2L_{pol} + s = 2 \cdot 95,1 + 8 = 198,2\text{ mm} \quad (3.9)$$

kde:  $L'_{pol}$  – délka polotovaru pro dvojkus [mm].

Vzhledem k přešlému zaokrouhlování, technologii dělení polotovaru řezáním, zaplnění výronkové drážky 75 % a sériovosti výroby je zvolena délka polotovaru pro dvojkus 198 mm.

Zvolené rozměry výchozího polotovaru pro dvojkus, z kruhové ocelové tyče válcované za tepla, jsou tedy  $\text{Ø}40 - 198\text{ mm}$ . Předkovek bude zhotoven na stroji ULS 70 od firmy Šmeral, který je schopen zpracovávat přířezy o průměru 35 až 80 mm a o délce až 300 mm.

### 3.5 Volba bucharu

Zpočátku je zapotřebí určit velikost bucharu, která vychází z práce potřebné k deformaci materiálu v posledním úderu beranu. V posledním úderu, protože je zde odpor od tvářeného materiálu proti deformaci největší. Pro nekruhový výkovek se práce vypočte pomocí vzorce práce pro kruhový výkovek do průměru 600 mm, avšak za průměr výkovku ( $D_D$ ) se dosadí redukovaný průměr výkovku ( $D_{dred}$ ), který se vypočte podle vzorce ( $F_D$  je průmět plochy výkovku dvojkusu s můstkem v dělicí ploše, tato hodnota byla zjištěna v programu Autodesk Inventor Professional 2021):

$$D_{red} = 1,13\sqrt{F_D} = 1,13\sqrt{157,35} = 14,2\text{ cm} \quad (3.10)$$

Práce pro kruhový výkovek, s dosazeným redukováným průměrem výkovku za průměr výkovku a pevností materiálu za kovací teploty 1100 °C určené dle normy ČSN 22 8308, se pak spočte podle vzorce (2.9), viz kap. 2.6:

$$A = 18(1 - 0,005 \cdot 14,2) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{14,2}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 14,2^2) \cdot 14,2 \cdot 50$$

$$A = 17\,396,2 \text{ J}$$

Následně je potřeba spočítat délku kovaného dvojkusů i se spojovacím můstkem ( $L_d$ ), který bude zkonstruován o stejné velikosti jako můstek výronkové drážky.

$$L_d = 2l_{vc} + s = 2 \cdot 126,8 + 8 = 261,6 \text{ mm} = 26,16 \text{ cm} \quad (3.11)$$

Pro dosazení do vzorce práce pro nekruhový výkovek je zapotřebí vypočítat ještě střední hodnotu šířky výkovku, což je poměr mezi plochou a délkou kovaného dvojkusů:

$$B_{dstř} = 2 \frac{F_D}{L_d} = 2 \frac{157,35}{26,16} = 12,03 \text{ cm} \quad (3.12)$$

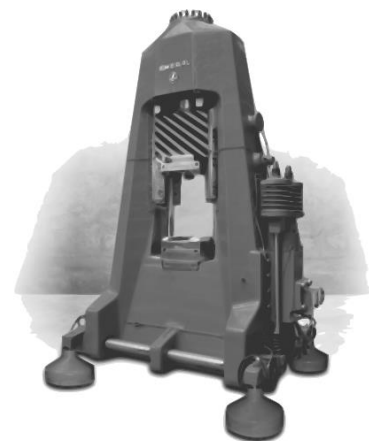
Práce pro nekruhový výkovek ( $A_n$ ) se spočítá tedy podle vzorce (2.10), viz kap. 2.6:

$$A_n = 17\,396,2 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{26,16}{12,03}}\right)^2 = 22\,905,12 \text{ J} = 22,9 \text{ kJ}$$

Pro takto vypočítanou velikost tvářecí energie vyhovuje pneumático – hydraulický buchar KHZ 4A (obr. 31) od firmy Šmeral o jmenovité energii úderu 50kJ. Buchary KHZ s vyšší tvářecí energií nejsou vhodné pro zhotovení zadané součásti, protože by bylo potřeba zvětšit rozměr vytloukacích ploch, aby byla pohlcena přebytečná energie. Tímto by se navýšila cena výroby. Základní údaje o zvoleném bucharu KHZ 4A jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab.10 Parametry bucharu KHZ 4A [32].

Buchar KHZ 4A		
Tvářecí energie	[kJ]	50
Upínací plocha zápustek	[mm]	300x570
Nejmenší výška zápustek	[mm]	350
Maximální zdvih beranu	[mm]	500
Počet zdvihů beranu	[-]	18
Celkový instalovaný výkon	[kW]	55
Rozměry stroje	[m]	3,6x3,1x2,3



Obr.31 Buchar KHZ 4A [32]

### 3.6 Volba ostříhovacího lisu

Ostříhovací lis bude zvolen podle velikosti střížné síly (každý kus se bude ostříhovat samostatně, obvod byl spočten v programu Autodesk Inventor Professional 2021), která se vypočte dle vzorce (2.13), viz kap. 2.7:

$$F_s = 2,7 \cdot 800 \cdot 325,27 \cdot 1,6 = 1\,124\,133,12\,N = 1\,124\,kN$$

Pro bezpečnost byla dosazena max. hodnota meze pevnosti materiálu. Podle výsledku velikosti střížné síly bude zvolen pro ostříhování ostříhovací lis LKOA 200 (obr. 32) od firmy Šmeral. Základní údaje o ostříhovacím lise LKOA 200 jsou uvedeny v tabulce 11.

Tab.11 Parametry ostříhovacího lisu LKOA 200 [33].

Ostříhovací lis LKOA 200		
Tvářecí síla	[kN]	2000
Sevření	[mm]	585
Průchod	[mm]	1420
Upínací plocha stolu	[mm]	1415x1000
Upínací plocha beranu	[mm]	1200x800
Přestavování beranu	[mm]	100
Zdvih/Počet zdvihů	[mm/min <sup>-1</sup> ]	210/55
Celkový instalovaný výkon	[kW]	18
Rozměry stroje	[m]	4,1x2,3x2,2



Obr. 32 Lis LKOA 200 [33]

### 3.7 Konstrukce kovací zápustky [29]

Zápustka bude zkonstruována dle normy ČSN 22 6308. Rozměry zápustky vychází především z rozměru a tvaru výkovku, jeho materiálu a použitém kovacím stroji. To však není vše.

V první řadě bude určena pomocná veličina (T) z nomogramu, který je zobrazen v příloze 4. Podle něj se tato veličina rovná asi 35 mm. Vzdálenost dutiny (S) od okraje zápustky musí být pak větší nebo rovna této hodnotě. Nejmenší výška a upínací plocha zápuštěk je uvedena výrobcem již zvoleného bucharu v tabulce 10, tyto hodnoty budou zvoleny pro konstrukci zápustky.

Jako vedení zápuštěk bude zvoleno vodičích kolíků. Ty jsou umísťovány zpravidla v rozích spodní zápustky v počtu 2 nebo 4 kusů. Slouží pro zamezení přesazení dutin v obou částech zápustky vůči sobě. Průměr kolíků je stanoven na velikost 36 mm. Minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky se vypočítá dle vzorce:

$$a = \frac{5}{6} d_k + 10 = \frac{5}{6} 36 + 10 = 40 \text{ mm} \quad (3.13)$$

kde: a – minimální vzdálenost kolíků od okraje zápustky [mm],  
d<sub>k</sub> – průměr vodičícího kolíku [mm].

Ostatní rozměry pro konstrukci otvorů v zápustce jsou uvedeny v příloze 5.

Vzhledem ke zvolené technologii předkování bude zápustka obsahovat jednu dokončovací dutinu. Zvětšenou o 1 %, na rozměrech přesahujících 10 mm (kromě spojovacích rádiusů), kvůli smrštění výkovku při chladnutí. Mezní úchytky dokončovací dutiny zápustky budou určeny dle tabulky 12.

Tab. 12 Mezní úchytky dokončovacích dutin [29].

Jmenovité rozměry [mm]	Provedení			
	Obvyklé			
	Mezní úchytky			
	⊥			
	+	-	+	-
0 až 20	0,1	0,05	0,05	0,03
20 až 80	0,2	0,1	0,1	0,05
80 až 160	0,3	0,15	0,12	0,08

Tyto hodnoty budou předepsány na vnitřních rozměrech dutiny zápustky, na rozměrech vnějších budou předepsány s obrácenými znaménky, tím bude zvýšena životnost zápustky.

Drsnosti ploch zápustky budou určeny podle tabulky uvedené v příloze 6. Materiál zvolený pro výrobu zápustky je ocel 19 552.

### 3.8 Technologický postup

Technologický postup výroby oka pístnice je uveden v tabulce 13.

Tab. 13 Technologický postup výroby oka pístnice.

<b>TECHNOLOGICKÝ POSTUP</b>		Vypracoval: HOŘAVA DAVID		
Název výkovku: OKO PÍSTNICE		Číslo výkresu výkovku: BP_2021_02	Číslo výkresu součásti: BP_2021_01	
Operace číslo:	Název operace:			
10	Dělit materiál – řezat			
	Jakost materiálu: C45E	Profil materiálu: KR 40 mm	ČSN materiálu: ČSN 42 5551	
	Stroj: Pásová pila Pegas 230x280 SHI-LR	Délka: 198 ± 0,5 mm	Hmotnost přířezu: 1,97 kg	
20	Kontrolovat přířez			
	Způsob kontroly: Kontrolovat hmotnost a jakost přířezu o četnosti 10 %.			
30	Kovat v kovací lince			
	A	Ohřát v indukčním ohřívači		
		Stroj: KSO 250/4 – A25	Teplota max.: 1200 °C	
	B	Válcovat (PKV)		
		Stroj: ULS 70	Teplota max.: 1200 °C	
	C	Kovat		
		Stroj: KHZ 4A	Kovací teplota: 1100 ± 50 °C	Tvářecí energie: 22,9 kJ
	D	Ostříhnout výronek a děrovat blánu		
		Stroj: LKO A 200	Hmotnost výkovku: 0,789 kg	Střížná síla: 1 124 kN
		Způsob ostřížení: Ostříhnout jeden kus z dvojkusu výkovku, pak otočit a ostříhnout druhý.		
40	Tepelně zpracovat			
	Způsob TZ: Normalizačně žíhat.	Teplota: 840 – 870 °C	Agregát: El. komorová pec	
50	Tryskat			
	Stroj: PTB 3			
60	Kontrolovat			
	Způsob kontroly: Kontrolovat rozměry výkovku o četnosti 10 %.			
70	Balit a expedovat			

## 4 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude řešeno pouze technicko – ekonomické zhodnocení nákladů na materiál pro výrobu zadané součásti.

Polotovarem pro výrobu dvojkusu výkovku zadané součásti byl zvolen v kapitole 3.4 přířez z tyče o rozměrech Ø40 – 190 mm. Tyče lze zpravidla pořídit o délce 6 m (hmotnost 9,86 kg / m, dle normy ČSN EN 10060). Tyč bude dělena na pásové pile o tloušťce pilového pásu 0,9 mm. Výrobní série je stanovena na 45 000 ks. Hmotnost součásti je dle výkresu 0,482 kg. Odpad v podobě ztrát materiálu bude následně po zhotovení určitého počtu součástí prodáván do kovošrotu.

a) Počet přířezů z jedné tyče:

$$n_p = \frac{L_{tyče}}{L'_{pol} + s_p} = \frac{6\,000}{198 + 0,9} = 30,16 \text{ ks} \quad (4.1)$$

kde:  $n_p$  – počet přířezů z jedné tyče [ks],  
 $L_{tyče}$  – celková délka jedné tyče [mm],  
 $L'_{pol}$  – délka polotovaru pro dvojkus [mm],  
 $s_p$  – průřez [mm].

Z jedné tyče bude zhotoveno 30 kusů přířezů pro dvojkus.

b) Celkový počet tyčí pro sérii 45 000 ks, kdy je potřeba zohlednit zhotovení dvou kusů z jednoho přířezu:

$$t_c = \frac{s_c}{2n_p} = \frac{45\,000}{2 \cdot 30} = 750 \text{ ks} \quad (4.2)$$

kde:  $t_c$  – celkový počet tyčí pro danou sérii [ks],  
 $s_c$  – velikost série [ks].

Na výrobu dané série bude potřeba 750 kusů tyčí o délce 6 m.

c) Hmotnost tyče:

$$m_t = L_{tyče} \cdot m_m = 6 \cdot 9,86 = 59,16 \text{ kg} \quad (4.3)$$

kde:  $m_t$  – hmotnost tyče [kg],  
 $m_m$  – hmotnost jednoho metru tyče [kg].

Hmotnost jedné tyče je 59,16 kg.

d) Ztráta materiálu z jedné tyče:

$$q_t = m_t - 2n_p \cdot m_s = 59,16 - 2 \cdot 30 \cdot 0,482 = 30,24 \text{ kg} \quad (4.4)$$

kde:  $q_t$  – ztráta materiálu z jedné tyče [kg],  
 $m_s$  – hmotnost součásti [kg].

Ztráta materiálu z jedné tyče činí 30,24 kg.

e) Celková ztráta materiálu:

$$q_c = q_t \cdot t_c = 30,24 \cdot 750 = 22\,680 \text{ kg} \quad (4.5)$$

Vypočtená celková ztráta materiálu činí 22 680 kg.

f) Cena tyčí pro výrobu celé série:

$$C_{tc} = t_c \cdot m_t \cdot C_m = 750 \cdot 59,16 \cdot 33,25 = 1\,475\,302,5 \text{ Kč} \quad (4.6)$$

kde:  $C_{tc}$  – cena celkového počtu tyčí [Kč],  
 $C_m$  – cena materiálu C45E za 1 kg dle katalogu Feron [Kč].

Náklady na pořízení tyčí pro výrobu celé série činí 1 475 302,5 Kč.

g) Cena odpadu v podobě celkové ztráty materiálu:

$$C_{qc} = q_c \cdot C_o = 22\,680 \cdot 4,5 = 102\,060 \text{ Kč} \quad (4.7)$$

kde:  $C_{qc}$  – cena celkového odpadu [Kč],  
 $C_o$  – cena ocelového odpadu za 1 kg [Kč].

Náklady vrácené za odvoz odpadu do kovošrotu činí 102 060 Kč.

h) Celková cena:

$$C_c = C_{tc} - C_{qc} = 1\,475\,302,5 - 102\,060 = 1\,373\,242,5 \text{ Kč} \quad (4.8)$$

kde:  $C_c$  – celková cena po odečtení vratného odpadu [Kč].

Celkové náklady na materiál pro výrobu celé série oka pístnice činí 1 373 242,5 Kč.

Zde provedené výpočty zohledňují pouze technicko – ekonomické zhodnocení nákladů na materiál, jak již bylo jednou zmíněno. Dále by bylo potřeba zohlednit např. cenu výrobních strojů, cenu nástrojů pro výrobu, náklady na spotřebovanou elektrickou energii, náklady na práci atd. To však v této bakalářské práci dále řešeno nebude.



## 5 ZÁVĚRY

Účelem bakalářské práce bylo navrhnout technologii výroby oka pístnice v sestavě hydraulické ruky o velikosti série 45 000 ks. Vzhledem k tomu, že tato součást bývá zpravidla velice cyklicky namáhána (je potřeba zajistit dobré mechanické vlastnosti této součásti a zároveň myslet na ekonomičnost), byl pro její výrobu zvolen materiál C45E a technologie výroby zápusťkovým kovááním s předkováním pomocí příčného klínového válcování.

Po volbě výrobní technologie byla zpracována literární rešerše právě na tuto technologii, v které byl zvolen pro výrobu součásti buchar, který je vhodný jak pro zhotovení velkých výrobků tak i těch menších a jednodušších. Oproti lisům se považují buchary za jednodušší, investičně a provozně levnější stroje. Dále bylo zvoleno vhodné ohřívací zařízení, a to indukční pec. Žádný stroj však nebyl určen zatím konkrétně.

Následně byl na základě literární rešerše sestaven technologický postup výroby doložený potřebnými technologickými výpočty. Prvně byla navržena konstrukce výkovku (tak, aby technologičnost vyhovovala metodě zápusťkového kováání) a výronkové drážky za použití norem ČSN 42 9030 a ČSN 42 9002. Pro zvýšení efektivity bylo rozhodnuto, že bude kováán jako dvojkus. Poté přišlo na řadu zhotovení návrhu rozměrů polotovaru podle metody průřezového obrazce. Jako polotovar byl tedy zvolen přířez z tyče o průměru 40 mm a o délce 198 mm, dělen metodou řezání na pásové pile Pegas 230x280 SHI-LR. Pro ohřátí přířezu byl zvolen indukční ohřívač KSO 250/4 – A25 od firmy ROBOTERM Chotěboř a pro předkování byl zvolen stroj pro příčné klínové válcování ULS 70 od firmy Šmeral. Dalšími zvolenými stroji je pneumaticko – hydraulický buchar KHZ 4A, od firmy Šmeral, s tvářecí energií 50 kJ a lis LKOA 200, také od firmy Šmeral, s tvářecí silou 2000 kN. Velikost těchto strojů byla zvolena podle výpočtů. Součástí bylo také vytvoření výkresu oka pístnice, výkovku a nástroje pro kováání.

Závěrem textu bakalářské práce bylo spočteno technicko – ekonomické zhodnocení nákladů na materiál pro výrobu součásti v sérii 45 000 ks. Celkové náklady na materiál pro výrobu celé série oka pístnice po vrácení částky za vrácený materiál činí 1 373 242,5 Kč.

Mimo to byl zhotoven výkres součásti BP\_2021\_01, výkovku BP\_2021\_02, zápusťky BP\_2021\_03, vodícího kolíku BP\_2021\_04 a sestavy zápusťky s kolíky BP\_2021\_05.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [35]

1. FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2004, 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
2. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. : il. ISBN 80-214-2374-9.
3. Forged parts. *The federal group USA* [online]. Southfield: The federal group USA, c2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.tfgusa.com/products/forged-parts/>.
4. HENEY, Paul. What are rod ends? *Fastener engineering* [online]. July 2019 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://fastenerengineering.com/what-are-rod-ends/>.
5. Rod ends. *RBC Bearings* [online]. Oxford (Connecticut): RBC Bearings, c2006 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <http://rbcbearings.com/rodends-industrial/index.htm>.
6. Rod end bearing. *Wikipedia* [online]. July 2019 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Rod\\_end\\_bearing#cite\\_note-motorsport-2](https://en.wikipedia.org/wiki/Rod_end_bearing#cite_note-motorsport-2).
7. 1.1191 Ocel k zušlechtnění. *Kipp* [online]. Brno: HEINRICH KIPP WERK GmbH & Co, c2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.kipp.cz/cz/cs/Slu%C5%BEby/P%C5%99ehled-materi%C3%A1l%C5%AF/Ocel/1-1191-zu%C5%A1lecht%C4%9Bn%C3%A1-ocel.html>.
8. BERNÁŠEK, Vladimír a Jan HOREJŠ. *Technologie slévání*. 3., upr. vyd. V Plzni: Západočeská univerzita, 2006, 175 s. : il. ISBN 80-7043-491-0.
9. Kování. *Katedra strojírenské technologie* [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm).
10. High feed milling cutters. *Kyocera* [online]. Costa Mesa: Kyocera, c2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://shop.kyoceraprecisiontools.com/collections/mfh-raptor>
11. Kurz odlévání. *Slevomat* [online]. Praha: Slevomat, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.slevomat.cz/akce/1390014-kurz-odlevani-z-olova-vytvorte-vlastni-sperk>.
12. Closed die forging. *Ferralloy* [online]. Los Angeles: Ferralloy, c2018 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.ferralloy.com/closed-die-forging-closed-die-forging/>.
13. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření II*. Brno: Univerzita obrany, 2008. 106 s. ISBN 978-80-7213-580-2.
14. Strength Improvement of Ferritic/Martensitic T91 Steel by Cross Wedge Rolling at Different Austenitizing Temperatures. *Springer Link* [online]. Basingstoke: Springer Nature, c2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11223-017-9842-z>.
15. Šroub. *Oehling* [online]. Klatovy: Oehling, 2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://www.oehling.cz/fordslr-sroub-14-delka-zavitu-38-mm>.
16. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. Základní druhy tváření. *Technologie tváření* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/kapitola\\_1.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/kapitola_1.htm).

17. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. 3. vyd. Brno: CERM, 2003, 169 s. ISBN 80-214-2340-4.
18. ŽÍDEK, Milan, Vladimír DĚDEK a Boris SOMMER. *Tváření oceli*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1988, 520 s.
19. HOLUB, Jiří. *Příčné klínové válcování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1972.
20. Strength Improvement of Ferritic/Martensitic T91 Steel by Cross Wedge Rolling at Different Austenitizing Temperatures. *Springer Link* [online]. Basingstoke: Springer Nature, c2021 [cit. 2021-02-28]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11223-017-9842-z>.
21. NESVADBOVÁ, Renata. Rozdělení strojního kování. *SlidePlayer* [online]. Zlín: SlidePlayer, c2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/3031694/>.
22. Ohřivače přířezů pro tváření. *ROBOTERM* [online]. Chotěboř: ROBOTERM, c2012 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/produkty/indukcni-ohrivace/ohrivace-prirezu/>.
23. Buchary pro zápusťkové kování. *ELUC* [online]. Olomouc: ELUC, 2021 [cit. 2021-03-09]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1853>.
24. SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. 6. doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016, 230 stran : ilustrace. ISBN 978-80-7204-921-9.
25. DVOŘÁK, Milan a Michaela MAREČKOVÁ. Zápusťkové kování - příklady. *Technologie tváření* [online]. Brno, 2006 [cit. 2021-03-10]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie\\_tvareni/priklady\\_kovani.htm](http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/technologie_tvareni/priklady_kovani.htm).
26. ČSN 42 9030. *Výkovky ocelové zápusťkové: Příkladky na obrábění, mezní úchylky rozměrů a tvarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1987.
27. ČSN 42 9002. *Rozdělení zápusťkových výkovků podle složitosti tvaru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1971.
28. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně. 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
29. ČSN 22 8308. *Zápusťky pro buchary: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1971.
30. Svislé kovací lisý: LZK 2500 P/SH. *ŠMERAL* [online]. Brno: Šmeral, c2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/8/lzk-2500-p-sh>.
31. Pneumaticko-hydraulické buchary: KHZ 8A. *ŠMERAL* [online]. Brno: Šmeral, c2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/55/khz-8a>.
32. Pneumaticko-hydraulické buchary: KHZ 4A. *ŠMERAL* [online]. Brno: Šmeral, c2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/54/khz-4a>.
33. Ostříhovací lisý: LKOA 200. *ŠMERAL* [online]. Brno: Šmeral, c2021 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/product/35/lkoa-200>.

34. SVOBODA, Pavel a Jan BRANDEJS. *Výběry z norem pro konstrukční cvičení*. Doplněné vydání. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2016, 234 stran: ilustrace. ISBN 978-80-7204-838-0.
35. *CITACE PRO* [online]. c2012-2020 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
a	Jehla	[mm]
a	Minimální vzdálenost kolíku od okraje zápustky	[mm]
A	Práce posledního úderu bucharu pro kruhový výkovek	[J]
A	Tažnost	[%]
A <sub>1</sub>	Křivka překrystalizace podeutektoidní oceli	[-]
A <sub>3</sub>	Křivka překrystalizace nadeutektoidní oceli	[-]
A <sub>n</sub>	Práce posledního úderu bucharu pro nekruhový výkovek	[J]
B	Největší šířka výkovku	[mm]
B <sub>dstř</sub>	Střední šířka výkovku	[cm]
b <sub>sc</sub>	Celková šířka součásti	[mm]
b <sub>vc</sub>	Celková šířka výkovku	[mm]
C <sub>c</sub>	Celková cena po odečtení vratného odpadu	[Kč]
C <sub>m</sub>	Cena materiálu C45E za 1 kg dle katalogu Feron	[Kč]
C <sub>o</sub>	Cena ocelového odpadu za 1 kg	[Kč]
C <sub>qc</sub>	Cena celkového odpadu	[Kč]
C <sub>tc</sub>	Celková cena tyčí	[Kč]
D	Kruhový průřez	[mm]
D <sub>d</sub>	Průměr výkovku	[cm]
D <sub>dred</sub>	Redukovaný průměr výkovku	[cm]
d <sub>k</sub>	Průměr vodícího kolíku	[mm]
DKT	Dolní kovací teplota	[-]
D <sub>pol</sub>	Průměr polotovaru	[mm]
DT	Dokovací teplota	[-]
F <sub>D</sub>	Průmět plochy výkovku dvojkusů s můstkem v dělicí ploše	[mm <sup>2</sup> ]
F <sub>s</sub>	Střižná síla	[N]
g	Otřep	[mm]
h	Polovina výšky můstku	[mm]
H <sub>1</sub>	Nejnižší tloušťka	[mm]
H <sub>D</sub>	Hloubka spodní dutiny zápustky	[mm]
HKT	Horní kovací teplota	[-]
L	Největší délka výkovku	[mm]
L' <sub>pol</sub>	Délka polotovaru pro dvojkus	[mm]
L <sub>d</sub>	Délka výkovku	[cm]
L <sub>pol</sub>	Délka polotovaru	[mm]
l <sub>sc</sub>	Celková délka součásti	[mm]
L <sub>tyče</sub>	Délka tyče	[mm]
l <sub>vc</sub>	Celková délka výkovku	[mm]
m	Hmotnost beranu	[kg]
m <sub>m</sub>	Hmotnost jednoho metru tyče	[kg]
m <sub>s</sub>	Hmotnost součásti	[kg]
m <sub>t</sub>	Hmotnost tyče	[kg]
n	Hloubka zásobníku	[mm]
n <sub>p</sub>	Počet přířezů z jedné tyče	[ks]
o	Obvod výronku	[mm]
p	Přesazení	[mm]
PKT	Počáteční kovací teplota	[-]
PKV	Příčné klínové válcování	[-]

$q_c$	Celková ztráta materiálu	[kg]
$q_t$	Ztráta materiálu z jedné tyče	[kg]
$R$	Zaoblení přechodu	[mm]
$r$	Zaoblení hrany	[mm]
$R_e$	Mez kluzu	[MPa]
$R_m$	Mez pevnosti	[MPa]
$s$	Šířka můstku	[mm]
$S$	Plocha řezu výkovkem	[mm <sup>2</sup> ]
$s_c$	Velikost série	[ks]
$S_d$	Průmět plochy výkovku v dělicí ploše	[mm <sup>2</sup> ]
$S_D$	Plocha výkovku v dělicí rovině	[mm <sup>2</sup> ]
$S_o$	Plocha řezu výkovkem s výronkem a propalem	[mm <sup>2</sup> ]
$s_p$	Průřez	[mm]
$S_{sv}$	Plocha řezu výkovkem s výronkem	[mm <sup>2</sup> ]
$S_{výr}$	Plocha průřezu výronku	[mm <sup>2</sup> ]
$s_z$	Šířka zásobníku	[mm]
$t_c$	Celkový počet tyčí pro danou sérii	[ks]
$V_o$	Objem spotřebovaný na opal	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{pol}$	Objem polotovaru	[mm <sup>3</sup> ]
$V_v$	Objem výkovku	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{vd}$	Objem výronkové drážky	[mm <sup>3</sup> ]
$V_{výr}$	Objem výronku	[mm <sup>3</sup> ]
$\bar{x}$	Střední hodnota	[mm]
$\bar{y}$	Střední hodnota	[mm]
$\alpha$	Úhel redukční plochy	[°]
$\beta$	Úhel klínu redukční plochy	[°]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\sigma_s$	Pevnost materiálu za dané teploty	[MPa]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka možných součástí zhotovených objemovým tvářením [3], [15].....	9
Obr. 2 Model řešené součásti .....	10
Obr. 3 Základní rozměry součásti .....	10
Obr. 4 Čelní frézování [10] .....	11
Obr. 5 Odlévání roztaveného kovu [11] .....	11
Obr. 6 Zápustkové kování [12] .....	11
Obr. 7 Schéma mechanismu skluzu a dvojčatění [2] .....	12
Obr. 8 Vlákna kopírující tvářené těleso [18].....	12
Obr. 9 Schéma zápustkového kování na bucharu [21].....	13
Obr. 10 Kovací teploty ocelí [13].....	13
Obr. 11 Indukční pec [22] .....	14
Obr. 12 Výkovek na výkrese [25] .....	15
Obr. 13 Schéma pro určení velikosti poloměrů zaoblení r a R [24].....	16
Obr. 14 Kovací blána na výkovku [13] .....	17
Obr. 15 Nejnižší tloušťka dna a disku $H_1$ [24] .....	17
Obr. 16 Tvarové úchytky [26].....	20
Obr. 17 Klikový kovací lis [30] .....	21
Obr. 18 Pneumaticko – hydraulický buchar [31] .....	21
Obr. 19 Obvyklá výronková drážka pro buchar [13] .....	22
Obr. 20 Schéma upnuté zápustky bucharu [13] .....	23
Obr. 21 Postup kování dvojkusu [13].....	24
Obr. 22 Stanovení tvaru polotovaru složitějších výkovků [13] .....	25
Obr. 23 Schéma PKV [20] .....	26
Obr. 24 Rozvinutý nástroj pro PKV [17] .....	26
Obr. 25 Umístění dělicí roviny.....	28
Obr. 26 Obrázek pro určení velikosti zaoblení hran r a přechodů R výkovku.....	29
Obr. 27 Obvyklá výronková drážka pro buchar se zakótovanými rozměry.....	31
Obr. 28 Pozice řezů vedených součástkou pro určení objemu polotovaru .....	32
Obr. 29 Průřezový obrazec.....	33
Obr. 30 Ideální předkovek a obrys skutečného předkovku .....	34
Obr. 31 Buchar KHZ 4A [32] .....	35
Obr. 32 Lis LKOA 200 [33].....	36

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Přehled chemického složení a mechanických vlastností oceli C45E [7] .....	10
Tab. 2 Velikost přídavek na obrábění ploch, obvyklé provedení [24].....	15
Tab. 3 Úkosy určené pro zápusťkové výkovky [13].....	16
Tab. 4 Zaoblení hran r a přechodů R [24] .....	16
Tab. 5 Nejnižší tloušťka dna, blány, disku $H_1$ a stěny s [24] .....	17
Tab. 6 Stupně přesnosti pro obvyklé, přesné a velmi přesné provedení [26].....	19
Tab. 7 Mezní úchytky zaoblení přechodů R a hran r [26].....	19
Tab. 8 Velikost zaoblení hran r a přechodů R.....	30
Tab. 9 Hodnoty pro návrh polotovaru .....	33
Tab. 10 Základní parametry bucharu KHZ 4A [32].....	35
Tab. 11 Základní parametry ostříhovacího lisu LKOA 200 [33] .....	36
Tab. 12 Mezní úchytky dokončovacích dutin [29] .....	37
Tab. 13 Technologický postup výroby oka pístnice.....	38



## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Mezní úchytky a tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti: 6 [26]
Příloha 2	Hodnoty pro výronkové drážky [29]
Příloha 3	Tyče ocelové kruhové válcované za tepla [34]
Příloha 4	Nomogram pro určení pomocné veličiny T [29]
Příloha 5	Rozměry vodících kolíků a otvorů pro kolíky [29]
Příloha 6	Opracování dutiny zápustky bucharu [29]

## SEZNAM VÝKRESŮ

Oko pístnice	BP_2021_01
Výkovek	BP_2021_02
Zápustka	BP_2021_03
Vodící kolík	BP_2021_04
Zápustka s kolíky	BP_2021_05

**Příloha 1** Mezní úchytky a tolerance rozměrů pro stupeň přesnosti: 6 [26]

ČSN 42 9030

**Tab. 11. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ  
PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 6**

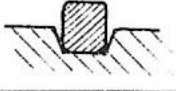
Rozměry v mm

Největší průměr výkovku $D$ nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu ( $H$ )							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
	Tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+4,0 -1,9	+4,3 -2,2
	Tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5		6,5
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+4,1 -2,1	+4,2 -2,1	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,5 -2,3	+4,7 -2,4	+5,0 -2,5	+5,4 -2,7
	Tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

## Příloha 2 Hodnoty pro výronkové drážky [29]

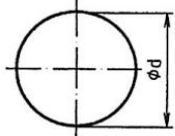
ČSN 22 8308

Tab. 7. HODNOTY PRO VÝRONKOVOU DRÁŽKU TYP I., II., III.

Čís.	2h	n	Pěchování			Protlačování					
						jednoduché			složitě		
			s	s <sub>z</sub>	F <sub>výr</sub>	s	s <sub>z</sub>	F <sub>výr</sub>	s	s <sub>z</sub>	F <sub>výr</sub>
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

*F<sub>výr</sub>* platí pouze pro výronkovou drážku typ I. a II.

## Příloha 3 Tyče ocelové kruhové válcované za tepla [34]

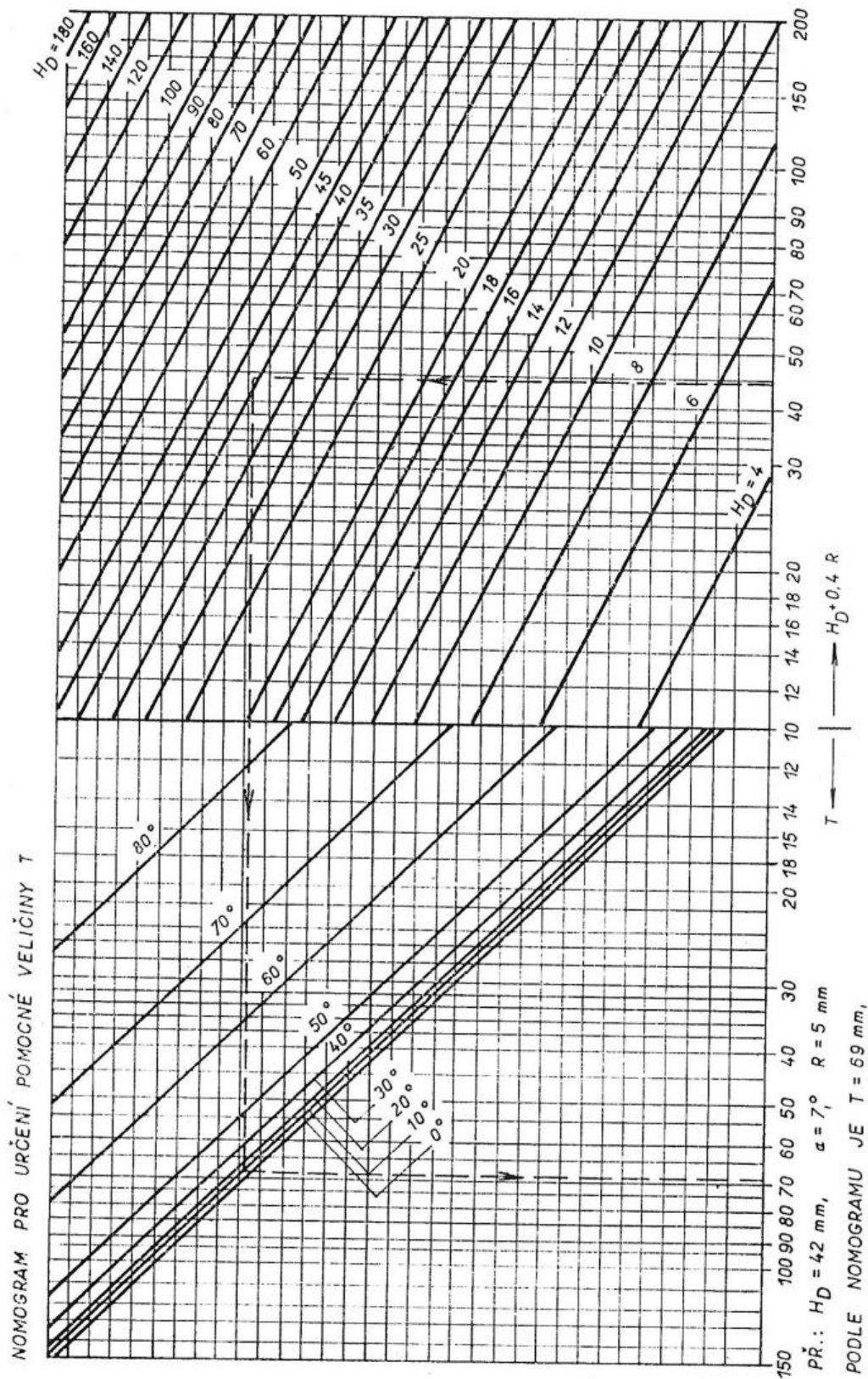
	<b>Tyče ocelové kruhové válcované za tepla</b>	Podle <b>ČSN EN 10060</b> (42 5551) Feron, a.s.
---	--	--

Účinnost: 1. 10. 2004

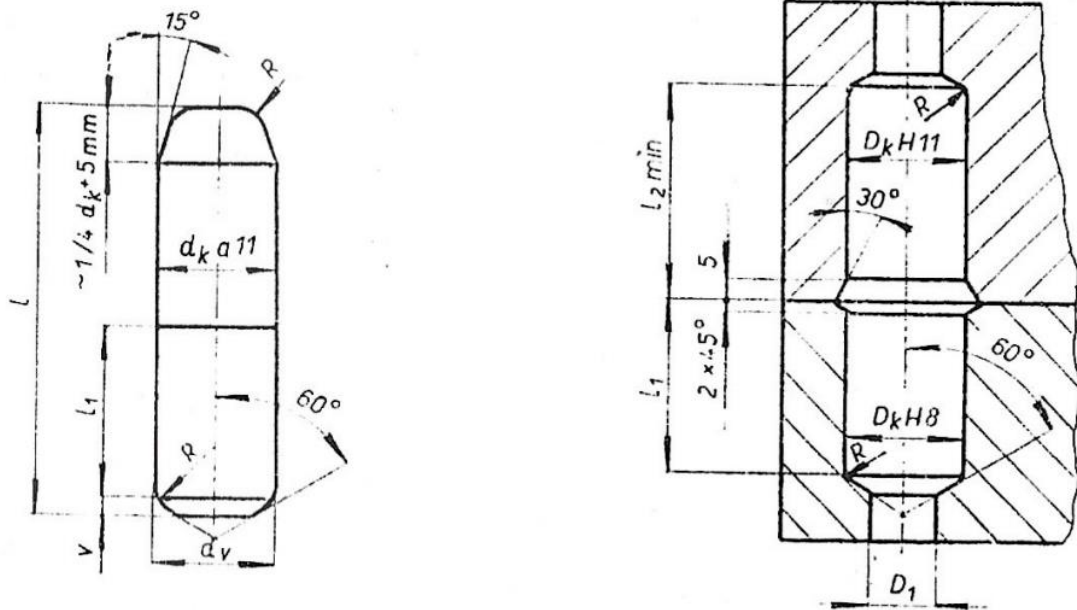
Průměr d mm	Hmotnost kg.m <sup>-1</sup>	Průměr d mm	Hmotnost kg.m <sup>-1</sup>	Průměr d mm	Hmotnost kg.m <sup>-1</sup>	Průměr d mm	Hmotnost kg.m <sup>-1</sup>
10	0,617	30	5,55	60	22,2	115	81,5
12	0,888	32	6,31	62	24,5	120	88,8
14	1,21	35	7,55	65	26,0	130	104
15	1,39	36	7,99	70	30,2	140	121
16	1,58	38	8,90	75	34,7	150	139
18	2,00	40	9,86	80	39,5	160	158
20	2,47	42	10,9	85	44,5	170	178
22	2,98	45	12,5	90	49,9	180	200
24	3,55	48	14,2	95	55,6	190	223
25	3,85	50	15,4	100	61,7	200	247
26	4,17	52	16,7	105	68,0	220	298
28	4,83	55	18,7	110	74,6	250	385

# Příloha 4 Nomogram pro určení pomocné veličiny T [29]

ČSN 22 8308



**Příloha 5** Rozměry vodících kolíků a otvorů pro kolíky [29]



Kolík (otvor)						Otvor			v	R
dk (Dk)				Přesah kolíku	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	D <sub>1</sub>		
I	II	III	IV							
12	14	16	18	0,02 až 0,04	70	30	45	8	2,5	3
16	18	20	22		85	40	50	10		
20	22	25	28		90	34	55	12		
25	28	30	34	0,03 až 0,05	100	45	65	16	4	5
30	32	36	38		110	50	70	20		
36	38	40	42	0,04 až 0,06	130	60	80	25		
40	42	45	48	0,04 až 0,06	140	70	80	25		
50	52	56	58	0,05 až 0,07	165	80	95	32		
60	63	65	68	0,06 až 0,08	185	90	110	40		
70	72	75	78	0,08 až 0,10	205	100	120	50		
80	82	85	88	0,10 až 0,12	225	110	130	63		
90	92	95	98	0,10 až 0,12	225	110	130	63		
100	105	110	115	0,12 až 0,14	245	120	140	70		
120	125	130	135	0,14 až 0,16	265	130	150	80		

## Příloha 6 Opracování dutiny zápustky bucharu [29]

	Opracování $R_a$
Dutina předkovací	1,6až3,2*)
Dutina dokončovací	0,8až3,2*)
Dutina pomocná	3,2až6,3
Mústek	0,8až3,2*)
Dosedací plochy	1,6až3,2
Upínací plochy	1,6až3,2
Zásobník	12,5
Ostatní vnější plochy	12,5až ~
Kontrolní roh	6,3až12,5
Vedení zápustky	1,6
Otvory pro dopravní kolíky	12,5
Drážky pro pera	1,6až3,2